UANL

FA

LXV

CICLO DE SEMINARIOS DE POSGRADO - OTOÑO - 2026



MEMORIAS

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola

VISIÓN UANL 2040

30 de noviembre y 01 de diciembre de 2026 / 8:30 horas
Biblioteca de Ciencias Agropecuarias y Biológicas
Aula Usos Múltiples, Facultad de Agronomía
Campus de Ciencias Agropecuarias UANL

La excelencia por principio la educación como instrumento

DIRECTORIO

Dr.Med. Santos Guzmán López

Rector

M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez

Director

Ph.D. Francisco Zavala García

Subdirector de Posgrado e Investigación

Dra. Nelly Cristina Ramírez Grimaldo

Secretaria de Posgrado e Investigación

COORDINADORES DE SEMINARIOS

Dr. Luis Enrique Espinoza Orozco

Dra. Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías

Ph.D. Alejandro Isabel Luna Maldonado

Dr. Victor Eustorgio Aguirre Arzola

PRESENTACIÓN

La Subdirección de Posgrado e Investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), organiza el LXV Ciclo de Seminarios de Posgrado e Investigación. En este Ciclo de Seminarios, los estudiantes de los programas educativos de Doctorado en Ciencias Agrícolas, Maestría en Ciencias en Producción Agrícola, Maestría en Ciencias con Orientación en: a) Ingeniería en Biosistemas y b) Ingeniería en Industrias Alimentarias, presentan sus avances de investigación ante especialistas externos invitados, evaluadores internos, comunidad estudiantil y docentes de la FAUANL.

Durante las ponencias, los ponentes reciben opiniones y sugerencias de los evaluadores y asistentes en general, sobre el desarrollo de sus tesis, permitiéndoles enriquecer sus trabajos de investigación, impactando positivamente en la calidad y el avance de sus manuscritos de tesis.

Estos eventos académicos, a través de su historia, han sido de gran beneficio para que los estudiantes cumplan en tiempo y forma su titulación y la difusión de sus resultados a través de artículos en revistas científicas de circulación nacional e internacional, mejorando así la eficiencia terminal exigida por el Sistema Nacional de Posgrados (SNP) / SECIHTI. Además, han representado la oportunidad para dar seguimiento al desarrollo de los programas educativos de los estudiantes y han sido una de las fortalezas de nuestros programas de posgrado para mantener su calidad, permitiendo alcanzar y conservar su reconocimiento en el SNP.

En este LXV Ciclo de Seminarios de Posgrado e Investigación, programado para los días 30 de noviembre y 01 de diciembre de 2026, se expondrán 40 trabajos de avances de investigación, además de dos conferencias magistrales por parte de externos.

Es importante agradecer a los Coordinadores del LXV Ciclo de Seminarios de Posgrado y al personal de la Subdirección de Posgrado e Investigación, por la organización del evento, así como también a los estudiantes de posgrado, asesores y comités particulares de tesis por su compromiso en la elaboración y entrega oportuna de los artículos de investigación para que este ciclo de seminarios pudiera realizarse.

Atentamente

Scientia Agricolis Vita

Ph.D. Francisco Zavala García
Subdirector de Posgrado e Investigación

Dra. Nelly Cristina Ramírez Grimaldo
Secretaria de Posgrado e Investigación

Dr. Luis Enrique Espinoza Orozco
Coordinador de Seminarios del P.E.
Doctorado en Ciencias Agrícolas

Dra. Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías
Coordinadora de Seminarios del P.E.
Maestría en Ciencias en Producción Agrícola

Ph.D. Alejandro Isabel Luna Maldonado
Coordinador de Seminarios del P.E.
Maestría en Ciencias con orientación en Ingeniería en Biosistemas

Dr. Victor Eustorgio Aguirre Arzola
Coordinador de Seminarios del P.E.
Maestría en Ciencias con orientación en Ingeniería en Industrias Alimentarias

El contenido de los escritos en esta Memoria es responsabilidad de los autores.

PROGRAMA EDUCATIVO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRIMER SEMESTRE

Adaptación de genotipos de amaranto en La Ascensión, Aramberri, N.L.
Ariana Liset Valdez-Mares; Nelly Cristina Ramírez-Grimaldo; Francisco Zavala-García; Sugey Ramona Sinagawa-García; Nydia Corina Vasquez-Aguilar; Eleazar Lugo-Cruz **7**

Caracterización de los sistemas de producción de ajo (*Allium Sativum L.*) en Nuevo León, México
Bianka Karen Tienda-Soto; Nelly Cristina Ramírez-Grimaldo; Eleazar Lugo-Cruz; Francisco Zavala-García; Luis Enrique Espinoza-Orozco **17**

Evaluación de bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)
Isaac Torres-Cruz; Emilio Olivares-Sáenz; Luis Enrique Espinoza-Orozco; Carlos Alberto Garza-Alonso; Eleazar Lugo-Cruz..... **25**

SEGUNDO SEMESTRE

Establecimiento de cuatro variedades de fresa bajo dos sistemas de producción en el sur de Nuevo León
Alan Reyes-Trejo; Adriana Gutiérrez-Díez; Luis Enrique Espinoza-Orozco; Eleazar Lugo-Cruz; José Ramon Saucedo-Carabez; Horacio Eliseo Alvarado-Raya **35**

Evaluación de bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en invernadero
Alberto Luis Morales-González; Emilio Olivares-Sáenz; Rigoberto Vazquez-Alvarado; Carlos Garza-Alonso; Luis Alberto Sumoano-Barragan; José Gerardo Uresti-Porras..... **45**

Antagonismo *in vitro* de hongos endófitos de árboles de aguacate criollo frente a agentes causales de cancros en ramas
Andrés García-Garza; Adriana Gutiérrez-Díez; Enrique Ignacio Sánchez-González; Alejandro Ibarra-López; Claudia Lizeth Robledo-Jiménez..... **55**

Caracterización agronómica de 23 maíces nativos amarillos (*Zea mays* L.) en el sur de Nuevo León: avances en floración y variables de altura e inserción
Maria Ezvietlana Araujo-Palomo; Francisco Zavala-García; Eleazar Lugo-Cruz; Jorge Ramsy Kawas-Garza; Paola Leonor García-Coronado; Adriana Gutiérrez-Díez..... **65**

Selección masal estratificada bajo estrés térmico en semilla de maíz nativo "ROJO FAUALA" Toma de datos y selección intrasublote
Silvia Leticia Esquivel-Loera; Francisco Zavala-García; Eleazar Lugo-Cruz; Adriana Gutiérrez-Díez; Sugey Ramona Sinagawa-García **81**

TERCER SEMESTRE

Inducción de tejido celular de cuatro razas nativas de maíz (*Zea mays* L.) mexicano
Edgar Eliu Parra-Castillo; Ma del Carmen Ojeda-Zacarías; Gilberto Rodríguez-Perez; Emilio Olivares-Sáenz; Alejandro Ibarra-López **92**

Evaluación morfogénica *in vitro* en especies de la familia *Cactaceae* influida con nanopartículas de cobre y quitosano
Oscar Acosta-Cabrera; Ma. Del Carmen Ojeda-Zacarías; Alejandro Ibarra-López; Emilio Olivares-Sáenz; José Gerardo Uresti-Porras **101**

CUARTO SEMESTRE

Conservación de germoplasma de Agave spp. mediante crecimiento mínimo y criopreservación
José Alejandro Segoviano-Covarrubias; Alejandro Ibarra-López; Ma. del Carmen Ojeda-Zacarías; Emilio Olivares-Sáenz; Adriana Gutiérrez-Díez; Liberato Portillo..... **109**

Caracterización bromatológica de especies de pastos nativos y naturalizados del noreste de México
Yesly Lizbeth Cazares-Villanueva; Lidia Rosaura Salas-Cruz; Carlos Alberto Hernández-Martínez; Maginot Ngangyo-Heya; Jesús Andrés Pedroza-Flores; Juan Emmanuel Segura-Carmona; Cynthia Adriana Nava-Berumen **120**

Adaptación de genotipos de amaranto en La Ascensión, Aramberri, N.L.

Ariana Liset Valdez-Mares[1]*; Nelly Cristina Ramírez-Grimaldo[1]; Francisco Zavala-García[1]; Sugey Ramona Sinagawa-García[1]; Nydia Corina Vasquez-Aguilar[1]; Eleazar Lugo-Cruz[1].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. AC.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
*Email: ariana.valdezm@uanl.edu.mx

Resumen. El amaranto (*Amaranthus* spp.) es un cultivo de creciente interés debido a su alto valor nutricional, adaptabilidad agronómica y potencial para contribuir a la seguridad alimentaria. México representa un importante centro de diversidad y domesticación de amaranto, concentrando su producción en los estados de Puebla, Tlaxcala, México, Ciudad de México, Oaxaca y Morelos (SIAP, 2025); sin embargo, este cultivo se encuentra poco desarrollado y con limitantes importantes como el bajo nivel tecnológico, uso de variedades de bajo rendimiento y falta de información sólida sobre las mejores prácticas de manejo agronómico. El presente estudio tiene como objetivo evaluar la adaptación fisiológica y agronómica de diferentes variedades de amaranto en La Ascensión, Aramberri, N.L. El experimento se llevará a cabo en la Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión, UANL. Se evaluará la adaptación a través de la evaluación del comportamiento fisiológico y la producción de grano bajo condiciones normales y estrés hídrico, para ello se analizará el desarrollo y crecimiento del cultivo, morfología, rendimiento y sus componentes, así como la calidad del grano.
Palabras clave. *Amaranthus* spp., adaptación, crecimiento, desarrollo, rendimiento de grano.

Abstract. Amaranth (*Amaranthus* spp.) is a crop of growing interest due to its high nutritional value, agronomic adaptability, and potential to contribute to food security. Mexico is an important center of amaranth diversity and domestication, with production concentrated in the states of Puebla, Tlaxcala, Mexico, Mexico City, Oaxaca, and Morelos (SIAP, 2025); however, this crop remains underdeveloped and faces significant constraints, such as low technological levels, the use of low-yielding varieties, and a lack of reliable information on best agronomic management practices. The objective of this study is to evaluate the physiological and agronomic adaptation of different amaranth varieties in La Ascensión, Aramberri, Nuevo León. The experiment will be conducted at the Faculty of Agronomy, La Ascensión Academic Unit, UANL. Adaptation will be assessed by evaluating physiological behavior and grain yield under normal conditions and water stress; to this end, the crop's development and growth, morphology, yield and its components, as well as grain quality, will be analyzed.
Keywords: *Amaranthus* spp., adaptation, growth, development, grain yield.

Introducción

En el transcurso de las últimas décadas, el cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.) ha cobrado importancia como una alternativa relevante para la salud humana y se le ha considerado un superalimento con múltiples beneficios (Caselato y Amaya, 2012; Venskutonis y Kraujalis, 2013; FAO, 2024) y en México es considerado como un alimento estratégico por sus cualidades (Segura y Jacobo, 2025). Este cultivo cobró

relevancia dentro de las culturas precolombinas de América por su utilidad como alimento y tributo, además de su uso en rituales dedicados a sus deidades (Ramírez *et al.*, 2025). Se estima que en la familia Amarantácea existen alrededor de 70 especies, de las cuales 40 son nativas de América y las 30 restantes se distribuyen entre Australia, Asia, África y Europa, sin embargo, solamente 17 especies son comestibles (Ramírez *et al.*, 2025). Actualmente, el amaranto se cultiva alrededor del mundo. Los principales países productores se encuentran en América, el Sudeste Asiático, Europa y África, con China como el mayor productor mundial (Ramírez *et al.*, 2025).

El amaranto posee un alto valor nutricional que es esencial para el crecimiento humano (Manassero *et al.,* 2020), su contenido proteico varía entre 12 y 19%, lo que resalta la presencia de aminoácidos esenciales tales como la lisina, valina, metionina, fenilalanina y treonina (Ramírez *et al.,* 2025). El contenido proteico supera el de otros cereales como el maíz, arroz y trigo (Segura y Jacobo, 2025). Además, se ha publicado que el amaranto es un cultivo redituable, de ciclo corto, con resistencia a las sequías y altas temperaturas, y con capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales (Alemayehu *et al*., 2015; Dabija *et al*., 2022; García *et al*., 2009, como se citó en Ramírez *et al.*, 2025).

Además de crecer en condiciones adversas, el amaranto es considerado un súper grano reconocido como uno de los cultivos más prometedores para contribuir a la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición; de igual modo, aborda la problemática actual vinculada con enfermedades crónico-degenerativas, como las cardiopatías isquémicas, las enfermedades cerebrovasculares y las hepatopatías crónicas, las cuales están estrechamente relacionadas con factores como la malnutrición, el sobrepeso y la obesidad (Espitia *et al.*, 2021). Este interés, junto con la diversidad de respuestas fisiológicas observadas dentro del género, ha impulsado el estudio de su comportamiento bajo diferentes condiciones (Macías *et al.*, 2026).

México constituye uno de los principales centros de diversidad y domesticación de esta especie (Mapes, 2010). La producción de grano de amaranto en el país se concentra principalmente en los estados de Puebla con 4.08 millones de toneladas (Mt), Tlaxcala con 2.29 Mt, México con 0.44 Mt, Ciudad de México con 0.14 Mt, Oaxaca con 0.08 Mt, y Morelos con 0.03 Mt (SIAP, 2025). Ramírez *et al.* (2025) señalan que el incremento de la demanda nacional e internacional del amaranto ha generado un fuerte interés en preservarlo como fuente de alimentación, tanto como verdura como grano (Aguilera *et al.*, 2021), lo que se ha reflejado en el incremento de la superficie sembrada.

En este contexto, la evaluación agronómica del amaranto representa una oportunidad para identificar materiales vegetales que contribuyan a diversificar la producción agrícola y aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles. Sin embargo, pese al reciente interés y su inclusión en la canasta básica, el cultivo de amaranto en México se encuentra poco desarrollado, fluctuando de acuerdo con la

oferta y la demanda (Espitia *et al.,* 2021). Existen limitantes importantes, como lo son el bajo nivel tecnológico, el uso mayoritario de variedades criollas de bajo rendimiento y la falta de tecnología sólida para definir las mejores prácticas de manejo agronómico, como por ejemplo la dosis de fertilización, fechas de siembra, densidades, control de plagas y enfermedades, entre otras (Espitia *et al.,* 2021).

Macías *et al.* (2026) señalan que, a pesar de los avances en el conocimiento del cultivo, persisten necesidades de investigación relacionadas con la tolerancia al estrés, el mejoramiento genético y la optimización de las prácticas agronómicas. Por consiguiente, no es suficiente considerar al amaranto como un cultivo potencialmente adaptable, es necesario evaluar el comportamiento de materiales específicos en los ambientes donde se pretende establecer su producción.

La variabilidad genética disponible en el amaranto constituye una herramienta para identificar materiales con características agronómicas favorables. En México, los trabajos de mejoramiento han buscado desarrollar líneas con características deseables para la producción de grano y biomasa, entre ellas uniformidad de altura, sincronía de maduración, arquitectura adecuada de la inflorescencia y potencial de producción de biomasa. Tavitas *et al.* (2021) desarrollaron líneas avanzadas de amaranto con el propósito de generar materiales que reunieran características de interés para los productores y facilitaran las labores de manejo y cosecha. Este antecedente muestra la importancia de aprovechar la diversidad genética del cultivo para mejorar su desempeño agronómico.

De manera complementaria, Saritha *et al.* (2024) al evaluar líneas de germoplasma de *Amaranthus hypochondriacus,* identificaron variabilidad en caracteres como rendimiento por planta, longitud de inflorescencia, altura de planta y días a floración. Estos resultados respaldan la evaluación comparativa de diferentes materiales como estrategia para reconocer aquellos con características favorables y potencial de adaptación.

Además de la variación genética, la interacción entre el genotipo x ambiente (G x A) es un factor determinante en el comportamiento de los cultivos. Una variedad que presenta resultados favorables en una localidad no necesariamente mantiene el mismo desempeño en otra, debido a las diferencias en las condiciones climáticas, el suelo y el manejo agronómico. Por ejemplo, Ayenan *et al. (*2025), evaluaron diez genotipos en cinco ambientes correspondientes a distintas localidades y años, encontrando interacciones significativas entre genotipo y ambiente para características como el rendimiento de biomasa fresca y las dimensiones de las hojas, lo que demuestra que la respuesta de los materiales puede variar según las condiciones de evaluación. Por ello, resulta importante evaluar los materiales en el ambiente donde se pretende utilizarlos.

Nuevo León es uno de los estados con altos índices de desarrollo y crecimiento económico; sin embargo, muestra niveles elevados de pobreza en varios de sus

municipios, entre los que se encuentra Aramberri, pues el 54.8% de la población posee al menos una de las seis carencias sociales que se evalúan (CONEVAL, 2022). En este municipio, la agricultura constituye la principal actividad económica, la cual está conformada en su mayoría por productores de pequeña y mediana escala (INEGI, 2024).

Además de los elevados índices de pobreza presentes en el municipio, la región ha experimentado efectos del cambio climático como la escasez hídrica, lo cual ha afectado de manera negativa la producción agrícola local, lo que a su vez reduce los ingresos de los productores y sus familias (Estrada *et al.*, 2022). Por ello, la incorporación de cultivos con capacidad de adaptación a condiciones de déficit hídrico representa una opción más de cultivo que podría contribuir a incrementar sus ingresos y fortalecer la estructura productiva local.

Al destacar por ser un grano tolerante a sequía y a condiciones climáticas adversas, con rendimientos que pueden igualar o superar a los de otros cultivos establecidos en las mismas condiciones (De la Cruz *et al.,* 2025; Khamis *et al.,* 2025), el amaranto se convierte en una alternativa viable frente a los cultivos predominantes en Aramberri y municipios cercanos, que puede ser un cultivo rentable para zonas donde predomina la agricultura de temporal (Ayala *et al.,* 2014), cuya producción puede impulsar la generación de empleos y mejorar los ingresos familiares, además de constituir una fuente de alimentación con alto valor proteico que favorece la seguridad alimentaria (FAO, 2024).

Del amaranto se derivan diversos productos; el más tradicional es la alegría, aunque en el mercado también se encuentran palanquetas, barras energéticas, harinas, que se comercializan principalmente a nivel local (Ayala *et al.,* 2014). Por tanto, la introducción de este cultivo en la zona podría incentivar la elaboración y comercialización de sus derivados, promoviendo el desarrollo económico y social de la población al ampliar las opciones de consumo y las fuentes de ingreso mediante el desarrollo de la cadena de valor del amaranto.

La investigación sobre la adaptación agro-fisiológica del amaranto permitiría generar información de utilidad para brindar a los productores herramientas para tomar decisiones fundamentadas, reducir la incertidumbre al incorporar un cultivo alternativo, aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles y diversificar sus sistemas de producción, contribuyendo al fortalecimiento de la agricultura regional y a la identificación de nuevas oportunidades productivas y económicas.

Por ello, se plantea como hipótesis que las diferentes variedades de amaranto presentan diferencias en su respuesta adaptativa a las condiciones del sur de Nuevo León, de modo que al menos una mostrará un buen desempeño agronómico y tendrá potencial para su uso en la comunidad.

El objetivo general de la investigación es evaluar la adaptación agronómica, fisiológica y de calidad de diferentes variedades de amaranto en la comunidad

de La Ascensión, Aramberri, Nuevo León, con el fin de definir si el cultivo puede ser viable para su introducción en la zona de estudio. Los objetivos específicos son: 1) evaluar la respuesta de germinación de seis variedades de amaranto bajo condiciones de estrés de sequía, 2) determinar la respuesta al estrés térmico de seis variedades de amaranto durante la etapa de plántula, 3) comparar el desempeño agronómico y fisiológico de diferentes variedades de amaranto en campo bajo dos fechas de siembra, y 4) identificar las variedades que presenten mayor potencial adaptativo en cada etapa propuesta.

Materiales y Métodos

El experimento se llevará a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía Unidad La Ascensión, en el municipio de Aramberri, Nuevo León (99°56'36'' oeste y 24°19' norte), que se encuentra a 1969 msnm y presenta un clima templado subhúmedo (INEGI, 2026). Se estudiarán variedades de amaranto comerciales y donadas por diversos centros de investigación del centro del país. El establecimiento del cultivo se realizará en dos fases. La primera fase se divide en dos etapas simultáneas: prueba de efecto de la sequía simulada paralela con estrés térmico a nivel de plántula. En la segunda fase, las diferentes variedades se establecerán en condiciones de campo.

Evaluación de la tolerancia al déficit hídrico y de calor en etapa de plántula (fase 1). En la primera etapa (efecto de la sequía simulada) se evaluará la germinación de seis variedades de amaranto en cajas Petri bajo estrés por sequía simulado utilizando PEG-6000. Paralelamente, en la segunda etapa (estrés térmico a nivel de plántula) se utilizarán charolas de germinación para siembra de las mismas variedades que después se establecerán en macetas con sustrato uniforme bajo condiciones de invernadero hasta que aparezcan las primeras hojas verdaderas, de las cuales se obtendrán muestras para exponerlas a diferentes temperaturas en baño María.

Establecimiento a cielo abierto (fase 2). Se realizará mediante la siembra inicial en charolas de germinación con sustrato peat moss y posteriormente se trasplantarán a cielo abierto en el terreno previamente preparado, con unidades experimentales de cinco surcos de 5 m de longitud, separados a 0.8 m entre sí y con una distancia de 20 cm entre plantas. Se evaluarán distintas variedades de amaranto bajo tres tratamientos de nitrógeno, incluido un testigo sin fertilización nitrogenada, durante dos fechas de siembra, mediante un diseño de bloques completos al azar.

Manejo agronómico. En la etapa 1 de la fase 1 se plantea realizar una evaluación de germinación de semillas previo a la siembra con el fin de evaluar la viabilidad y el vigor de las semillas, aplicando PEG-6000 para simular un efecto de sequía. Primero se llevará a cabo en laboratorio una prueba utilizando como sustrato papel filtro humedecido con tres presiones osmóticas (-0.4 MPa, -1.0 MPa y -1.5 MPa), en cajas Petri y utilizando como control agua destilada en un arreglo de bloques completos al azar. Se registrarán el porcentaje de germinación y variables

morfológicas después de los siete días del establecimiento.

Simultáneamente, la siembra de la etapa 2 se realizará en charolas de germinación con sustrato (peat moss). Nueve días después, cuando aparezca el primer par de hojas verdaderas, las plántulas se trasplantarán a macetas individuales de cultivo con capacidad de 14 litros, utilizando una mezcla homogénea de suelo local, estiércol y sustrato comercial (peat moss), procurando mantener constantes las condiciones de manejo durante el crecimiento durante la fase 1.

A partir de las plántulas se obtendrán discos de tejido foliar, los cuales se someterán a las temperaturas seleccionadas mediante un baño María con control de temperatura, bajo condiciones constates de tiempo de exposición, volumen de solución y manipulación.

Durante la fase 2, las semillas se germinarán en charolas y las plántulas uniformes se trasplantarán al terreno definitivo. Se aplicará un riego inicial para favorecer el establecimiento y posteriormente los riegos se ajustarán a la humedad del suelo y las condiciones ambientales. El manejo incluirá control de malezas, monitoreo de plagas y enfermedades y aplicación uniforme de labores culturales. Se establecerán tres dosis de nitrógeno y un ambiente sin fertilización, las cuales se aplicarán en momentos establecidos del ciclo del cultivo.

Variables por evaluar. Las variables para evaluar durante las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo en los dos sistemas de producción son:

Variables de la fase 1:

- Porcentaje de germinación, germinación diaria, índice de velocidad de germinación, peso seco de plántula, peso de mil semillas, plántulas normales, supervivencia después del trasplante, altura de plántulas, longitud de raíz, acumulación de biomasa fresca y seca de las plántulas.

Variables de la fase 2:

- Variables de crecimiento y desarrollo. Se evaluará a través del porcentaje de supervivencia, altura de planta a floración, altura de planta a la madurez, diámetro del tallo, número de hojas, biomasa seca, longitud de panoja y días a floración.
- Variables de producción. Se evaluará el rendimiento de grano, peso de mil semillas e índice de cosecha.

Análisis estadístico. El análisis de varianza se realizará con el paquete estadístico R, (R Core Team, 2024), haciendo una comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos que puedan presentar diferencias significativas. Se usará un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo factorial para ambas fases, y con cuatro repeticiones.

Plan de trabajo y calendarización

Se trabajará conforme a las actividades y los semestres mostrados en el Cuadro 1, que abarcan el periodo de agosto-diciembre de 2026 a enero-junio de 2028, considerando que las actividades pueden

presentar ajustes derivados de la disponibilidad de material.

Cuadro 1. Plan de trabajo y calendarización 2026-2027.

Actividad	2026	2027		2028
	Ago. - Dic.	Ene. - Jun.	Ago. - Dic.	Ene. - Jun.
Revisión de literatura	X	X	X	X
Gestión para adquisición de semilla	X			
Planificación y aplicación del experimento de la fase 1	X			
Recolección de datos de F1	X			
Planificación y aplicación del experimento a cielo abierto fase 2		X		
Manejo y toma de datos del experimento a cielo abierto		X		
Cosecha		X		
Escrito de tesis	X	X	X	X
Defensa de tesis				X
Publicación de artículo científico				X

Desglose financiero

El desglose financiero del Cuadro 2 presenta una estimación aproximada de los costos referentes a la investigación de acuerdo con el periodo ya mencionado (cuatro semestres). Los recursos financieros provienen principalmente del proyecto 363-CAAFE-2026 del Programa de Apoyo a la Investigación y Divulgación Científica y Humanística (PAIDCH), convocatoria 2026, así como de los recursos propios de los participantes en la investigación.

Cuadro 2. Desglose financiero estimado.

Rubro o concepto	Monto estimado	Fuente del recurso
Materiales y suministro para invernadero.	$15,000.00	Proyecto 363-CAAFE-2026
Materiales de laboratorio para los análisis correspondientes a la primera fase.	$13,000.00	Proyecto 363-CAAFE-2026
Mano de obra para preparación y adecuación del invernadero.	$6,000	Proyecto 363-CAAFE-2026
Suministros y materiales para el experimento a cielo abierto.	$15,000.00	Recursos propios y Proyecto 363-CAAFE-2026
Mano de obra para el establecimiento del experimento a cielo abierto.	$9,000.00	Recursos propios
Manejo del cultivo	$3,000.00	Recursos propios
Transporte y viáticos	$12,000.00	Recursos propios y Proyecto 363-CAAFE-2026
Análisis de laboratorios externos (de suelo, de calidad).	$8,000.00	Recursos propios
Participación en congresos y otros eventos académicos.	$10,000.00	Recursos propios
Total	**$91,000.00**	

Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de la UANL por el financiamiento derivado del proyecto 363-CAAFE-2026 del Programa de Apoyo a la Investigación y Divulgación Científica y Humanística (PAIDCH), convocatoria 2026. A la Facultad de Agronomía por facilitar las instalaciones para realizar la investigación y al Dr. Adrián Argumedo Macías del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, por su importante contribución al donar material genético para la investigación.

Referencias Bibliográficas

Aguilera, E., Solís, A., Ibarra, K., Cifuentes, R. & Sánchez, I. (2021). Amaranto: distribución y diversidad morfológica del recurso genético en partes de la región Maya (sureste de México, Guatemala y Honduras). *Acta Botánica Mexicana,* 128: ei1738.

Alemayehu, F., Bendevis, M. & Jacobsen, S. (2015). The potential for utilizing the seed crop amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an alternative crop to support food security and climate change mitigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201, 321-329.

Ayala, A., Rivas, P., Cortes, L., De la O-Olán, M., Escobedo, D., & Espitia, E. (2014). La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.)* en la región centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4*(7), 1121-1136.

Ayenan, M., Anglinglo, L., Amoussou, L., Sosa, R., Zokpon, C., Dinssa, F. & Schafleitner, R. (2025). Agronomic Performance and Stability of Vegetable Amaranth (*Amaranthus* spp.) Genotypes in Benin. *Plant Environ Interact, 7*(4): e70076.

Caselato, V. & Amaya, J. (2012). State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, R3-R104.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2022). Informe de pobreza y evaluación 2022. Nuevo León. Ciudad de México: *CONEVAL.* https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_pobreza_evaluacion_2022/Nuevo_Leon.pdf

Dabija A., Ciocan, M., Chetrariu, A. & Codină, G. (2022). Buckwheat and amaranth as raw materials for brewing, a review. *Plants,* 11:756.

De la Cruz, D., Ayala, A., Reyna, D., & Márquez, S. (2025). Análisis de la cadena de valor de amaranto en el Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*.

Estrada, F., Mendoza, A., Calderón, O. *et al.* (2022). Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Reg Environ Change*, 22, 126.

Espitia, E., Sesma, L., Valverde, M., González, L., Escobedo, D. & Aguilar, M. (2021). Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12*(8), 1459.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). *Censo*

Agropecuario 2022. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197926.pdf

INEGI. (2026). *Mapa Digital de México*. https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjI0jMxNTE2LGxvbjotOTkuOTQ1MzksejoxMyxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dDExMXNlcnpY2lvcw==

Khamis, G., Alsherif, E., Korany S., Aldailami, D., Aloufi, A., Khalaf, M., Hamed, S., Maridueña, M., Al Jaouni, S., & Selim, S. (2025). Drought stress differentially influences growth, physiology, and metabolite accumulation in *Triticum aestivum* (C3) and *Amaranthus caudatus* (C4) plants. *BMC Plant Biology, 25*: 1199.

Macías, S., Arjona, J., Huebra, L., Rubio, J., Sánchez, I., García, C., Aparicio, N. & Albertos, P. (2026). Amaranth, the ancient pseudocereal: a promising crop for climate-resilient agriculture and healthy diets. *Front. Plant Sci.* 17:1716624.

Manassero C., Añón, M. & Speroni, F. (2020). Development of a high protein beverage based on amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition.* 75:599-607.

Mapes, S. (2010) El amaranto (Amaranthus spp.) planta originaria de México. *AAPAUNAM Academia, Ciencia y Cultura,* 4:217-222.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). *Promoviendo la transformación de los sistemas agroalimentarios en México: el rol del amaranto*. https://www.fao.org/mexico/noticias/detail-events/en/c/1681339

Ramírez, G., Ramírez, J., Lozano, M. & de la O-Olán, M. (2025). LOCALIZACIÓN DE CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS BAJO TEMPORAL ADECUADAS PARA *Amaranthus* spp. EN MÉXICO. *Revista Fitotecnia Mexicana, 48*(1), 25.

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing.

Saritha, A., Umarani, E. & Sridevi, S. (2024). Genetic Parameters in Germplasm Lines for Yield and Its Contributing Traits in Gran Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Journal of Experimental Agriculture International, 46*(12):895-901.

Segura, M. & Jacobo, D. (2025). Amaranthus spp.: A multifunctional crop at the nexus of nutrition, health, and sustainable innovation. *Journal of Agriculture and Food Research, 24*.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2025). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (AEPA).* https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Tavitas, L., Hernández, L., de la O-Olán, M., Gámez, A., Sangermán, D. & Arellano, J. (2021). OBTENCIÓN DE LÍNEAS F4 DE AMARANTO (*Amaranthus* spp.) A PARTIR DE CRUZAMIENTOS

INTERVARIETALES. *Revista Fitotecnia Mexicana, 44*(4), 491.

Venskutonis, P. & Kraujalis, P. (2013). Nutritional Components of Amaranth Seeds and Vegetables: A Review on Composition, Properties, and Uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12 (4), 381–412.

Caracterización de los sistemas de producción de ajo (*Allium Sativum L.*) en Nuevo León, México

Bianka Karen Tienda-Soto[1*]; Nelly Cristina Ramírez-Grimaldo[1]; Eleazar Lugo-Cruz[1]; Francisco Zavala-García[1]; Luis Enrique Espinoza-Orozco[1].
Facultad de Agronomía, Campus Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
*Email: bianka.tiendas@uanl.edu.mx

Resumen. El ajo (*Allium sativum L.)* es una hortaliza que tiene importancia mundial por su valor económico, uso culinario y sus propiedades medicinales. México ocupa el lugar 17 en el ranking de producción mundial, que fue de 29.7 millones de toneladas en el año 2024. Aunque el estado de Zacatecas destaca como el principal estado productor a nivel nacional, el estado de Nuevo León se posiciona en tercer lugar nacional en rendimiento promedio (14.8 t ha^{-1}), concentrándose el 93 % de la producción en el municipio de Aramberri, en dónde se introdujo por primera vez en el año 1998. En los últimos años ha disminuido la superficie sembrada con ajo en el sur de Nuevo León, siendo de hasta 73 % menor en 2025 comparado con la producción promedio de los años 2019 y 2020, lo cual afecta la economía local, ya que el cultivo de ajo es una de las principales fuentes de empleo en esta región productora. A pesar del tiempo que ha transcurrido desde su introducción al sur de Nuevo León (28 años), no existen estudios que se enfoquen en describir los sistemas de producción del ajo en tal región, lo cual es importante para generar estratégicas que permitan mejorar su capacidad competitiva. Por ello, este trabajo tiene como objetivo describir los productores, sistemas de producción y calidad de cosechas de ajo en el municipio de Aramberri, Nuevo León, México, para identificar fortalezas y áreas de mejora que permitan generar estratégicas para mejorar su competitividad.
Palabras clave; economía rural, tipología de productores, calidad del bulbo, competitividad.

Abstract. *(Allium sativum L.)* is a vegetable of global importance due to its economic value, culinary uses, and medicinal properties. Mexico ranks 17th in global production, which reached 29.7 million tonnes in 2024. While the state of Zacatecas is the leading producer nationwide, the state of Nuevo León ranks third in the country in terms of average yield (14.8 t ha^{-1}), with 93% of its production concentrated in the municipality of Aramberri—where the crop was first introduced in 1998. In recent years, the area planted with garlic in southern Nuevo León has declined; by 2025, it was up to 73% lower than the average production recorded in 2019 and 2020. This has impacted the local economy, as garlic cultivation serves as a primary source of employment in this production region. Despite the 28 years that have passed since its introduction to southern Nuevo León, there are no studies describing garlic production systems in the area—information that is essential for developing strategies to enhance competitiveness. Therefore, this study aims to characterize the producers, production systems, and harvest quality of garlic in the municipality of Aramberri, Nuevo León, Mexico, in order to identify strengths and areas for improvement, thereby facilitating the development of strategies to boost competitiveness.
Keywords: rural economy, typology of producers, bulb quality, competitiveness.

Introducción

El ajo (*Allium Sativum L.)* es una de las hortalizas de bulbo más antiguas y cultivadas a nivel mundial, la cual destaca por su producción y valor económico (Kindie & Mengistu, 2022). Esta especie es de las más cultivadas del género *Allium*, y es altamente distinguida por sus propiedades culinarias, así como por sus múltiples aplicaciones en la medicina tradicional, ya que cuenta con propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, anticancerígenas, cardioprotectoras y antifúngicas vinculadas a la presencia de compuestos organosulfurados como la alicina (Jiménez *et al*., 2014; Sönmez *et al*., 2025).

Según Kindie y Mengistu (2022) el ajo se destina tanto al consumo directo como a diversos procesos industriales, siendo principalmente al mercado en fresco. Asimismo, su versatilidad permite procesarlo para la industria alimentaria, donde se utiliza en estado deshidratado o en polvo y en la extracción de aceites esenciales.

En el año 2024 la producción mundial de esta especie alcanzó 29.7 millones de toneladas, en una superficie cosechada de 1.67 millones de hectáreas. China destaca como el principal país productor, con una aportación del 84.4 % de la producción global (FAOSTAT, 2024).

Por su parte, México ocupa el lugar número 17 en la producción mundial de ajo con 107,088 t ha^{-1} y una superficie cosechada de 7,795 ha (FAOSTAT, 2024). La producción nacional proviene de 19 entidades federativas, siendo el estado de Zacatecas el principal productor, seguido por Guanajuato, Sonora, Chihuahua, Puebla y Baja California, esos estados en conjunto aportan el 89.6 % de la producción del país. Nuevo León ocupa el noveno lugar en producción nacional, siendo los municipios de Aramberri y Galeana los únicos en donde se cultiva; particularmente, el 93 % de la producción de ajo se cultiva en la comunidad de La Ascensión en el municipio de Aramberri (SIAP, 2025).

En este municipio el cultivo de ajo ha mostrado alto potencial de producción, ya que en el ciclo 2024-2025 el rendimiento promedio fue de 15 t ha^{-1}, que fue mayor al promedio del rendimiento comercial nacional (13.2 t ha^{-1}), y ocupó el tercer lugar a nivel nacional, solo después de Zacatecas (16.1 ha^{-1}) y Veracruz (16.0 ha^{-1}) (SIAP, 2025).

En la localidad de La Ascensión, N.L. se introdujeron las variedades “Tigre” y “Don Fermín” en el año de 1998 por medio de experimentos realizados en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Obregón, 2022). Esta hortaliza involucra labores de cultivo intensivos que se realizan desde la preparación de semilla para la siembra, hasta la cosecha y comercialización (Sindhura *et al*., 2021), por ello ha generado una gran oferta de empleos para las familias de esa región.

No obstante, tras 28 años de consolidación como la principal agrodinámica socioeconómica regional, al sostener el empleo rural y el ingreso de las unidades de producción familiar, el cultivo enfrenta una

severa recesión caracterizada por la reducción acelerada de la superficie sembrada. Mientras que en el ciclo agrícola 2019-2020 se sembraron 340 hectáreas en la región sur, para el ciclo 2025-2026 la cifra cayó a 93 hectáreas, lo que representó una reducción del 73 % (SIAP, 2025).

En algunos estudios se ha publicado que, en los cultivos intensivos de hortalizas, una caída grave de la producción suele ser causada por la disminución de la fertilidad del suelo, el cambio climático, estándares exigentes de calidad, precios bajos o a la escasez de mano de obra (Rutledge & Mérel 2022; Pokwana & Shackleton 2025).

A pesar de la magnitud del problema y del tiempo transcurrido desde la adopción del ajo en Aramberri, existe un vacío de información científica sistemática sobre la realidad operativa de estos agroecosistemas.

Analizar y documentar cuantitativamente las dinámicas de un agroecosistema en estado de contracción resulta imprescindible no solo para fundamentar la intervención de organismos de desarrollo rural, sino para aportar evidencia empírica a la discusión global sobre la resiliencia de sistemas hortícolas ante crisis de competitividad. Generar un diagnóstico sistemático permitirá además articular estrategias de innovación tecnológica, manejo agronómico y conservación de la calidad postcosecha acordes a las necesidades reales de los agricultores de la región.

Por lo tanto, el objetivo general de este estudio es analizar de manera integral el sistema de producción de ajo (*Allium sativum* L.) en el municipio de Aramberri, Nuevo León, mediante la caracterización socioeconómica de los productores, la evaluación técnica y agronómica del cultivo, así como la determinación de la calidad comercial de la cosecha, para tipificar a los agricultores e identificar limitantes críticas como base para el diseño de estrategias orientadas a mejorar su competitividad y sostenibilidad.

Para cumplir con el objetivo general planteado, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar socioeconómicamente a los productores de ajo del municipio de Aramberri, Nuevo León, con el fin de determinar el perfil social y el nivel de vulnerabilidad de las unidades de producción.

2. Diagnosticar la dimensión técnica y agronómica del sistema de producción de ajo en el municipio de Aramberri, Nuevo León, para identificar las ineficiencias operativas y las limitantes tecnológicas que afectan la productividad del cultivo.

3. Evaluar los parámetros físicos y comerciales de calidad de la cosecha de ajo obtenida en Aramberri, Nuevo León, con el propósito de determinar el grado de ajuste del producto a los estándares y exigencias de los mercados nacional e internacional.

4. Determinar una tipología de productores e identificar las principales fortalezas, limitantes técnicas y factores determinantes de la contracción del cultivo, sintetizando la información

socioeconómica, técnica y de calidad, para fundamentar el diseño de estrategias orientadas a recuperar la competitividad y sostenibilidad del cultivo.

Hipótesis general: La tipología de los productores y de los sistemas de producción influyen sobre el rendimiento y la calidad del cultivo de ajo, por lo que un bajo desempeño de ellos puede llevar a la disminución de producción de ajo en la comunidad de la Ascensión Aramberri N.L.

Materiales y Métodos

La investigación se llevará a cabo en la comunidad de La Ascensión, Aramberri, N.L., la cual presenta una altitud de 1980 msnm y una temperatura promedio anual de 15.6 °C con un clima templado subhúmedo, caracterizado por inviernos fríos y veranos moderadamente cálidos (CONAGUA & SMN, 2026)

El estudio es de tipo no experimental, transeccional con un enfoque observacional, descriptivo y comparativo (Hernández Sampieri *et al.,* 2014), ya que no se manipularán los sistemas de producción de ajo, el cual estará dividido en tres fases.

Fase 1. Recopilación de información para el diagnóstico socioeconómico de productores y evaluación técnico-agronómica del sistema de producción.

La obtención de la información primaria se llevará a cabo mediante entrevistas semiestructuradas dirigidas a la población objeto de estudio, la cual estará constituida por productores activos e inactivos (con historial de abandono del cultivo) de ajo (*Allium sativum* L.) en la localidad de La Ascensión, municipio de Aramberri, Nuevo León.

Para el caso de los productores activos, se considerará la totalidad del padrón local identificado en los registros de los pozos de riego, que son 61 productores en la comunidad de La Ascensión, Aramberri, N.L. Por otro lado, dado que no se cuenta con un marco muestral formal para el total de productores inactivos, su selección se realizará mediante la técnica de muestreo por bola de nieve e informantes clave en la comunidad, hasta alcanzar la saturación de la información.

Se diseñará un cuestionario diagnóstico previamente codificado y estructurado en los siguientes bloques temáticos compartidos y específicos según el estatus del productor (activo vs. inactivo):

Módulo socioeconómico (se aplica a ambos tipos de productores). Aquí se recopilará información sobre edad, sexo, estado civil, ocupación, nivel educativo, años de experiencia en el cultivo, superficie agrícola propia, composición del núcleo familiar, aportación de mano de obra (familiar/contratada) y estructura de ingresos (porcentaje derivado del ajo vs. pluriactividad). Esto para determinar posibles diferencias entre los productores activos e inactivos.

Módulo técnico-agronómico del agroecosistema (solo productores activos). Aquí se recopilará información sobre: gestión del suelo y preparación del terreno, control de semilla y siembra, nutrición,

riego, sanidad vegetal, cosecha, postcosecha y rendimiento, todo ello para la caracterización de los sistemas de producción vigentes.

Módulo de caracterización del abandono (solo productores inactivos): Aquí se consultará el año de suspensión del cultivo, años cultivando, rendimiento promedio antes del abandono, las prácticas que usaban antes de abandonar, el cultivo o actividad por la que sustituyeron al ajo y la razón principal del abandono.

Módulo de limitantes y priorización de Garrett (se aplica a ambos tipos de productores): Aquí se presentará un listado de factores limitantes o restrictivos para la sustentabilidad del agroecosistema, en dónde los productores activos priorizaran las limitantes que los tienen al borde del abandono, mientras que los inactivos priorizaran las causas que los llevaron a retirarse (Garret & Woodworth, 1969). Los factores estarán relacionados con la calidad y sanidad de la semilla, costos de producción, plagas y enfermedades, escalabilidad, comercialización, escasez de mano de obra, condiciones de clima y financiamiento.

Previo a la aplicación formal del instrumento, se llevará a cabo una prueba piloto con algunos productores. Esta fase permitirá evaluar y ajustar el procedimiento de entrevista, asegurando la claridad de las preguntas y la optimización de los tiempos de respuesta.

Fase 2. Muestreo de cosecha y evaluación de la calidad comercial.

Se hará un muestreo aleatorio al momento de la cosecha para el análisis de calidad, aquí se evaluarán las siguientes variables:

Morfológicas: Tales como el tamaño del diente, el número de dientes, así como la sanidad, altura, diámetro y color del bulbo (Todorović *et al*., 2025).

Químicas: masa fresca, % de ácido pirúvico, pérdida de masa fresca, unidades de alicina (Mujica & Pérez, 2006).

Fase 3. Procesamiento y análisis estadístico de datos.

Primero se realizará un análisis estadístico descriptivo o inferencial sobre las variables socieconómicas, técnico-agronómicas y de calidad del bulbo. Se podrán hacer comparaciones entre grupos según corresponda, usando métodos estadísticos como chi-cuadrada, t de Student y U de Mann-Whitney.

Se realizará una tipificación de productores usando estadística multivariada, en particular, métodos factoriales avanzados (análisis de componentes múltiples mixtos) y métodos de clasificación y agrupamiento (clustering mediante distancia euclidiana y método de ward) con el fin de considerar tanto las variables cualitativas como las cuantitativas (Santos *et al.,* 2014).

También se aplicará una ponderación de limitantes mediante la Técnica de Ranking de Garrett (Garret & Woodworth, 1969).

Cabe señalar que, el análisis de los datos de la primera fase podrá llevarse a cabo a

la par o al final de la medición de variables de calidad.

Plan de trabajo y calendarización

En el Cuadro 1 se presenta el cronograma de trabajo, mediante el cual se especifica el tiempo de ejecución asignado a cada una de las fases del estudio a fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación.

Cuadro 1. Plan de trabajo 2026-2028

Actividades	2026		2027	2028	
	Ago. - Dic.	Ene. - Jun.	Ago. - Dic.	Ene. - Jun.	Ago - Dic.
Revisión de literatura	X	X	X	X	
Fase 1: Diseño de cuestionario	X				
Prueba piloto entrevista	X				
Realización entrevistas	X	X			
Fase 2. Muestreo de Cosecha y Evaluación de calidad Comercial		X	X		
Fase 3: Procesamiento y análisis de los datos.		X	X	X	
Redacción de artículo científico				X	
Redacción de tesis	X	X	X	X	
Examen de grado					X

Desglose financiero

En el Cuadro 2 se detalla el presupuesto estimado para el desarrollo de la investigación, especificando los montos por rubros y el total requerido para la ejecución de las tres fases.

Cuadro 2. Desglose financiero estimado

Actividad	Monto para utilizar ($ MXN)	Fuente del recurso
Levantamiento de encuestas	$45,000.00	Beca SECIHTI
Recolección de muestras poscosecha de ajo	$10,000.00	Beca SECIHTI
Recolección de muestras de semilla	$10,000.00	Beca SECIHTI
Análisis de laboratorio de muestras de semilla	$25,000.00	Beca SECIHTI Recursos del comité
Total	**$115,000.00**	

Agradecimientos

Agradezco a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por brindarme la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias en Producción Agrícola, la cual me proporcionará las herramientas profesionales y científicas para mi desarrollo académico y personal.

Asimismo, a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el otorgamiento de la beca, cuyo valioso respaldo será clave para la continuidad y culminación de mis estudios de posgrado.

Agradezco también a mi directora y codirector, Dra. Nelly Cristina Ramírez Grimaldo y Dr. Eleazar Lugo Cruz, por su orientación y acompañamiento.

Referencias Bibliográficas

Comisión Nacional del Agua & Servicio Meteorológico Nacional. (2026). Base de Datos Climatológica Nacional: Valores Extremos de la Estación 19111 (La Ascensión, Aramberri, Nuevo León). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Med-Extr/nl/medex19111.txt

Garrett, E. & Woodworth, R. (1969). Estadística en psicología y educación. Vakils, Feffer y Simons Pvt. Ltd. Bombay. 329.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Jiménez, P., Rangel, J., Mendoza, M., Cervantes, F., & Rivera, J. (2014). Effect of propagule size and plant density on seedling emergence, yield and quality of garlic (*Allium sativum* L.). *Revista Internacional de Botánica Experimental International Journal of Experimental Botany, Fyton*, *83*, 83–91. https://doi.org/10.32604/phyton.2014.83.083

Kindie, B., & Mengistu, S. (2022). Agro morphological trait evaluation of garlic (Allium sativum L.) response to fertilizer. Indian Journal of Advanced Botany, 2(1), 1–5. https://doi.org/10.54105/ijab.a1014.042122

Mujica, H., y Pérez de Camacaro, M. (2006). Características físicas y químicas de ajo (*Allium sativum* L.) cosechado en dos estados de madurez y almacenado en condiciones ambientales. *Bioagro*, *18*(3), 171-175. https://www.redalyc.org/pdf/857/85718306.pdf

Obregón, J. (2022). *Etiología, incidencia y daños por pudrición seca de ajo (Allium sativum L.) en la Ascensión, Aramberri, Nuevo León* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Institucional UANL. http://eprints.uanl.mx/18574/1/1080289244.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *FAOSTAT: Cultivos y productos ganaderos* [Base de datos]. FAO. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Pokwana, S., & Shackleton, C. (2025). Factores complejos e interactivos del abandono de campos cultivables en aldeas del Cabo Oriental y KwaZulu-Natal, Sudáfrica. Land Use Policy . https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107736

Rutledge, Z., & Mérel, P. (2022). Farm labor supply and fruit and vegetable production. American Journal of Agricultural Economics. https://doi.org/10.1111/ajae.12332

Santos, V. Zúñiga, M., Leos, J. & Álvarez, A. (2014). Tipología de productores agropecuarios para la orientación de políticas públicas: Aproximación a partir de un estudio de caso en la región Texcoco, Estado de México, México. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente, 14(28), 47-70.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Anuario estadístico de la producción agrícola* [Base de datos]. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Sindhura, K., Tekale, V. S., & Thakre, P. N. (2021). Constraints faced by vegetable growers in Amaravati division of Maharashtra. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, *39*(11), 633–637. https://doi.org/10.9734/ajaees/2021/v39i1130777

Sönmez, I., Erol, Ü., & Sarpkaya, K. (2025). Caracterización morfológica y bioquímica integral de genotipos de ajo (*Allium sativum* L.) mediante análisis multivariado. *BMC Plant Biology*, *25*, Artículo 856. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06859-2

Todorović, V., Đekić, N., Umićević, S., Tepić, S., Nikolić, P., & Antić, M. (2025). Caracterización de la población local de ajo de primavera (*Allium sativum* L.) de Ljubinje, República de Srpska. En *Libro de actas del XIV Simposio Internacional sobre Ciencias Agrícolas AgroReS 2025*. https://doi.org/10.63356/agrores.2025.002

Evaluación de bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Isaac Torres-Cruz*; Emilio Olivares-Sáenz[1]; Luis Enrique Espinoza-Orozco[1]; Carlos Alberto Garza-Alonso[1]; Eleazar Lugo-Cruz[1].
Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
*Email: isaac.torresc@uanl.edu.mx

Resumen. El crecimiento y rendimiento del cultivo de papa requieren una gran demanda nutricional, por lo que hay una gran dependencia de fertilizantes químicos y reguladores sintéticos en sistemas de producción. El objetivo del proyecto es evaluar el efecto de la aplicación de diferentes bioestimulantes mediante el acondicionamiento de la semilla, así como una aplicación foliar. La propuesta del proyecto es optimizar la nutrición vegetal mediante prácticas más eficientes y sostenibles, por lo que se evaluarán los siguientes tratamientos: T1. Testigo, sin aplicación de bioestimulantes, T2. Nanopartículas de zinc, T3. Enerplant (oligosacáridos), T4. Leonardita, T5. Ácidos fúlvicos y T6. *Methylobacterium* (MTH Bacterum), utilizando un diseño de bloques completos al azar. El experimento se realizará en el campo experimental unidad académica la Ascencion de la Facultad de Agronomía de la UANL. Los tratamientos se aplicarán al tubérculo previo a la siembra y posteriormente cuando la planta se encuentre en el estadio fenológico BBCH 14-16 (4-6 hojas). En el transcurso del experimento se evaluarán variables de crecimiento, rendimiento, fenológicas, bioquímicas y nutricionales. En el experimento se espera identificar los bioestimulantes que ofrezcan la mejor respuesta de vigor, producción y calidad, además de generar alternativas a los agricultores de la región para mejorar su competitividad mediante una agricultura más sustentable.
Palabras clave. nanopartículas de zinc, oligosacáridos, leonardita, ácidos fúlvicos, *methylobacterium.*

Abstract. Potato crop growth and yield entail high nutritional demands, leading to a heavy reliance on chemical fertilizers and synthetic regulators within production systems. This project aims to evaluate the effects of applying various biostimulants—both through seed treatment and foliar application—with the goal of optimizing plant nutrition via more efficient and sustainable practices. The following treatments will be assessed using a randomized complete block design: T1 (Control – no biostimulants), T2 (Zinc nanoparticles), T3 (Enerplant – oligosaccharides), T4 (Leonardite), T5 (Fulvic acids), and T6 (Methylobacterium/MTH Bacterium). The experiment will be conducted at the "La Ascención" experimental field, part of the Faculty of Agronomy at the Autonomous University of Nuevo León (UANL). Treatments will be applied to the tubers prior to planting, and subsequently to the plants at the BBCH 14–16 phenological stage (4–6 leaves). Throughout the experiment, various growth, yield, phenological, biochemical, and nutritional variables will be evaluated. The study seeks to identify which biostimulants yield the best results in terms of plant vigor, production, and quality, while also providing regional farmers with alternatives to enhance their competitiveness through more sustainable agricultural practices.
Keywords: zinc nanoparticles, oligosaccharides, leonardite, fulvic acids, *methylobacterium*

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de importancia para la seguridad alimentaria mundial y se produce en más de 150 países (Valdez-González, 2026). En México, en 2024 se registró una producción de 2.23 millones de toneladas, una superficie cosechada de 64 917 ha y un rendimiento promedio de 32.71 t por hectárea (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2025). En este contexto, el cultivo de papa representa una opción viable para los diferentes productores del país. En Nuevo León en el año 2025 se registraron 2599 hectáreas sembradas, una producción de 112,310 t y un rendimiento promedio de 42.21 toneladas por hectárea, con un valor de la producción de 1527 millones de pesos, ocupando el sexto lugar nacional con un 5.02% de la producción del país (SADER, 2025)

La producción de papa requiere gran cantidad y diversos recursos e insumos agrícolas, por lo que su manejo eficiente es fundamental para mantener el rendimiento y reducir los costos de producción (Steyn *et al*., 2016). Aunque dicho cultivo bajo riego puede ser rentable, las prácticas y los costos de insumos influyen en los resultados económicos (Valdez-González, 2026).

El aprovechamiento de dichos recursos puede influir tanto en la productividad como en el costo de producción, lo que resalta la importancia de mejorar el manejo de los recursos disponibles *(*Steyn *et al.,* 2016).
Dentro de estos recursos la fertilización representa un aspecto importante. El uso desequilibrado de los diferentes elementos puede aumentar costos y ocasionar perdidas sin incrementar la producción (Wang *et al*., 2024*).*

Además, la producción intensiva y la dependencia de insumos externos representa un reto para mantener sistemas de producción rentables y sostenibles, entre los principales retos para la producción sostenible de papa se encuentra la necesidad de reducir la dependencia de insumos externos, además de considerar el conocimiento técnico y las condiciones económicas de los productores *(*Morugán-Coronado *et al.,* 2024). En México, se ha señalado la necesidad de evaluar estrategias que permitan reducir la dependencia de agroquímicos y mantener la producción de papa (Romero-Lima *et al*., 2000).

Asimismo, las prácticas de manejo intensivo tienen efectos negativos sobre la sanidad y conservación del suelo. En sistemas agrícolas de Calimaya, Estado de México, se han documentado procesos de degradación física y química asociados con el manejo y la intensificación de la actividad agrícola (García-Fajardo *et al*., 2024). Ante esta situación, se han propuesto diferentes alternativas de manejo orientadas a mejorar el aprovechamiento de los diferentes recursos utilizados en la producción de papa, entre estas alternativas se encuentra el uso de bioestimulantes debido a su capacidad para modificar procesos fisiológicos de las plantas y favorecer aspectos relacionados con el crecimiento, desarrollo, nutrición y respuesta ante condiciones adversas (Rouphael y Colla, 2020).

Los bioestimulantes vegetales son sustancias de origen natural o microorganismos que, al aplicarse a las plantas, semillas o rizosfera, estimulan procesos fisiológicos naturales para mejorar la eficiencia nutricional, la tolerancia a estreses abióticos y la calidad del cultivo (Rouphael y Colla, 2020). A diferencia de los fertilizantes estos no aportan nutrientes, sino que favorecen procesos fisiológicos que contribuyen al desarrollo de las plantas (du Jardin, 2015).

En el cultivo de papa se han evaluado diferentes tipos de bioestimulantes como son: sustancias húmicas, extractos vegetales, aminoácidos y microorganismos, sin embargo, la respuesta no siempre es consistente. En una revisión de 48 casos de estudio realizados en campo en tomate y papa, solamente el 47% de los casos reportaron un incremento en el rendimiento comercial. La respuesta estuvo relacionada con factores como el genotipo, la composición del bioestimulante, la dosis, el momento y el método de aplicación (Golin *et al.,* 2024*).* Esto indica que los bioestimulantes no necesariamente producen la misma respuesta bajo todas las condiciones de producción.

Una vía de aplicación consiste en tratar el material de propagación antes de establecer el cultivo. El acondicionamiento o priming consiste en someter previamente al material vegetal a un estímulo que permita activar respuestas fisiológicas antes de enfrentar las condiciones propias del cultivo *(*Efimova *et al.,* 2023*)*. En papa esta estrategia ha sido evaluada directamente sobre los tubérculos, como el estudio realizado por Vergara-Carmona *et al*. (2019), en donde se trataron los tubérculos de papa con diferentes concentraciones de zinc y tiempos de exposición, lo que permitió modificar la concentración y la biodisponibilidad de este micronutriente en los tubérculos.

Las nanopartículas, generalmente definidas como materiales con dimensiones de entre 1 y 100 nm, han surgido como una alternativa en la agricultura debido a sus aplicaciones en la nutrición vegetal y el aprovechamiento de nutrientes. Particularmente, las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) se han relacionado con cambios en el crecimiento y desarrollo de cultivos de la familia Solanaceae, como el tomate y el chile (Raliya *et al*., 2015; Méndez-Argüello *et al*., 2016).

Enerplant es un producto agrícola cuyo ingrediente activo declarado son los oligosacáridos, obtenidos a partir de materiales vegetales seleccionados (Biotec Internacional, 2023). De acuerdo con un reporte técnico del proveedor, en un ensayo realizado con papa de la variedad Fianna en Huachichil, Nuevo León, se registró un incremento del 48% en el rendimiento con la aplicación del producto (Biotec Internacional, s. f.).

El uso de microorganismos eficaces mediante tratamientos preventivos a la siembra de tubérculos de papa ha mostrado efectos favorables sobre la salud de los tubérculos y su respuesta frente a patógenos transmitidos por el suelo (Barbaś *et al*., 2026). Los microorganismos asociados a las raíces mejoran la disponibilidad de nutrientes y pueden

producir fitohormonas, como auxinas y citocininas, que participan en el desarrollo vegetal. Además, determinados microorganismos pueden favorecer la tolerancia al estrés y mejorar el aprovechamiento de los diferentes recursos (Velasco-Jiménez *et al*., 2020). Por otra parte, Bonini *et al*. (2020) observaron que la aplicación de un bioestimulante microbiano modificó el perfil de fitohormonas y metabolitos secundarios, además de mejorar el rendimiento en una especie de la familia Solanácea.

Por otra parte, la aplicación edáfica de leonardita cruda o de ácidos húmicos derivados de esta, estimula la formación de tubérculos y eleva la productividad comercial (Akimbekov *et al.,* 2020).
Los ácidos fúlvicos, también derivados de leonardita, Se han utilizado en papa, como lo mencionan Ali *et al*. (2018), quienes evaluaron la aplicación foliar de ácido fúlvico solo y en combinación con fertilizantes inorgánicos y zinc. Los resultados indicaron que los tratamientos que combinaron estos componentes alcanzaron rendimientos mayores, por su parte, Xu *et al*. (2025) evaluaron un fertilizante soluble enriquecido con ácido fúlvico bajo diferentes condiciones de riego y reportaron mejoras en el crecimiento, la fotosíntesis y el rendimiento de los tubérculos.

La aplicación foliar constituye otra vía de suministro de bioestimulantes en papa activando vías metabólicas que elevan el índice foliar y atenúan limitaciones edáficas (Kumar *et al.,* 2025).
A pesar de los beneficios asociados con el uso de bioestimulantes, se ha observado que la respuesta de los cultivos puede variar dependiendo del tipo de producto, la dosis aplicada, las condiciones ambientales, las prácticas de manejo, así como el momento y el método de aplicación (Golin *et al.,* 2024). Esto resalta la importancia de evaluar los bioestimulantes bajo condiciones específicas de producción, con el propósito de generar recomendaciones fundamentadas para cada cultivo.
Existen estudios sobre el uso de bioestimulantes en papa y también antecedentes del uso de priming en tubérculos, en donde se ha encontrado que la respuesta puede variar dependiendo del tipo de estimulante la dosis el tiempo de exposición y las condiciones de producción, por ello resulta de interés evaluar diferentes alternativas de bioestimulación mediante una misma estrategia de aplicación utilizando el tubérculo semilla como material de tratamiento. En este contexto el presente trabajo propone evaluar el efecto de diferentes bioestimulantes aplicados mediante priming al tubérculo semilla de papa y una aplicación foliar considerando sustancias de diferente naturaleza como son: leonardita, nanopartículas de zinc, oligosacáridos, ácidos fúlvicos y *Methylobacterium*.

La comparación de estos tratamientos bajo las mismas condiciones experimentales permitirá determinar diferencias en la respuesta del cultivo y generar información sobre la utilidad de estas estrategias de aplicación para mejorar el desarrollo, producción y rendimiento del cultivo.

Materiales y Métodos

El experimento se llevará a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión, en el municipio de Aramberri, Nuevo León, ubicada en las coordenadas 24°19´03" Latitud Norte y 99°56´34" Longitud Oeste y a 1972 msnm, con un clima templado subhúmedo (INEGI, 2010). Para el experimento se trabajará con semilla de papa variedad Fianna clasificada como cuartas y quintas de tercera generación, la cual será utilizada como material de propagación para el establecimiento del experimento.

El experimento se realizará en campo abierto por lo cual se utilizará un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. Los tratamientos serán los siguientes:

Tratamientos

T1: testigo, sin aplicación de bioestimulantes.
T2: nanopartículas de zinc.
T3: Enerplant (oligosacáridos).
T4: leonardita.
T5: ácidos fúlvicos.
T6: bacterias del género *Methylobacterium*

Cada unidad experimental estará integrada por cuatro surcos de 6 m de longitud con una separación entre surcos de 85 cm. Los seis tratamientos se distribuirán al azar dentro de cada bloque, de acuerdo con el croquis de la Figura 1.

I	T5	T2	T1	T3	T6	T4
II	T4	T1	T3	T5	T2	T6
III	T6	T3	T4	T2	T5	T1
IV	T2	T5	T6	T1	T4	T3

Figura 1. Croquis del experimento

Antes de la siembra, los tubérculos semilla se tratarán con la solución correspondiente a cada producto. Las concentraciones, los tiempos de exposición y el procedimiento de acondicionamiento se definirán con base en las recomendaciones de los proveedores y con base en antecedentes científicos disponibles para su aplicación en semilla de papa. Para cada tratamiento la semilla será expuesta a la solución correspondiente durante el tiempo establecido, posteriormente los tubérculos serán retirados de la solución y se procederá a su establecimiento en campo.

Cuando no exista información específica sobre el tiempo de exposición o concentración para algunos de los productos (leonardita) se utilizará como referencia estudios realizados con productos o compuestos de características similares. Para complementar la aplicación de los tratamientos, se realizará una aplicación foliar durante el desarrollo de las hojas 4-6.

Variables que se evaluarán

Variables de crecimiento y desarrollo

- ✓ Porcentaje de brotación.
- ✓ Días hasta la brotación.
- ✓ Altura de planta
- ✓ Número de tallos por planta

Variables de rendimiento

- ✓ Costos de producción
- ✓ Número de tubérculos por planta
- ✓ Peso de tubérculos por planta
- ✓ Rendimiento

Variables fisiológicas

- ✓ Contenido de clorofila
- ✓ Tasa de asimilación neta de CO_2.

Variables bioquímicas

- ✓ Compuestos fenólicos
- ✓ Capacidad antioxidante

Variables nutricionales

- ✓ Concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg).

Los datos obtenidos de las variables evaluadas serán sometidos a un análisis de varianza (ANVA) utilizando el programa estadístico SPSS, para cada variable se revisarán las suposiciones del ANVA mediante la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la distribución normal. Para determinar diferencias entre los tratamientos se utilizará un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha = 0.05$). En aquellos casos en donde se obtengan diferencias significativas entre los tratamientos, se realizarán pruebas de comparación de medias por el método de Tukey. Las variables que no cumplan con las suposiciones del ANVA serán analizadas con estadística no paramétrica

Medición de la tasa de asimilación neta de CO_2

La tasa de asimilación neta de CO_2 se determinará mediante un analizador IRGA (analizador infrarrojo de gases) portátil de intercambio gaseoso LI-COR LI-6400, utilizando luz solar natural. La medición se realizará a los cinco días después de la aplicación foliar de los tratamientos, en hojas completamente desarrolladas, sanas y expuestas a la luz. Se registrará la tasa de asimilación neta de CO_2 una vez estabilizadas las lecturas, procurando mantener condiciones ambientales y horarios de medición comparables entre tratamientos. El procedimiento se fundamenta en los principios de medición del intercambio gaseoso descritos por Long y Bernacchi (2003).

Medición de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y concentración de nutrientes

La muestra foliar se obtendrá cortando las hojas más recientemente maduras en cada unidad experimental, las cuales serán secadas a 65 °C. Las hojas serán molidas y sometidas a una digestión ácida en una mezcla de ácido perclórico y ácido nítrico, de acuerdo con la metodología propuesta por Alcántar y Sandoval (1999). El N se analizará mediante el método de micro Kjeldahl y las muestras digeridas se utilizarán para la determinación de P, K, Ca, Mg utilizando un espectrómetro de absorción atómica.

Los ensayos para la determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se realizarán en el Laboratorio de Química y Bioquímica, de la Facultad de Agronomía de la UANL. Para la determinación de los compuestos fenólicos se utilizará la técnica de Folin-Ciocalteu y para la determinación de antioxidantes se

utilizarán los métodos: DPPH, ABTS y FRAP.

Plan de trabajo y calendarización

El plan de trabajo se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Plan de trabajo.

Actividad	2026-2027		2027-2028	
	Ago.-Dic.	Ene.-Jun	Ago.-Dic.	Ene.-Jun
Revisión bibliográfica	X			
Diseño experimental y planificación	X			
Redacción del anteproyecto	X			
Adquisición de materiales		X		
Preparación de suelos		X		
Muestreo y análisis de suelo y agua		X		
Aplicación de tratamientos (Priming)		X		
Establecimiento de cultivo (siembra)		X		
Toma de datos de crecimiento		X		
Aplicación foliar de los tratamientos		X		
Toma de datos de rendimiento			X	
Análisis de laboratorio			X	
Análisis estadístico			X	
Escritura de la tesis				X
Defensa de tesis				X
Publicación de artículo científico				X

Desglose financiero

Cuadro 2. Presupuesto estimado

	Monto para utilizar	Fuente del recurso
Semilla.	$7,000	SECIHTI
Preparación de terreno.	$2,500	SECIHTI
Siembra y establecimiento.	$1,500	SECIHTI
Sistema de riego.	$3,000	SECIHTI
Fertilización.	$3,500	SECIHTI
Bioestimulantes.	$3,000	SECIHTI
Materiales de aplicación.	$1,000	SECIHTI
Control de malezas.	$1,500	SECIHTI
Control de plagas.	$1,500	SECIHTI
Equipo de protección personal.	$1,500	SECIHTI
Control de enfermedades.	$1,500	SECIHTI
Análisis de suelo.	$3,300	SECIHTI
Mano de obra.	$4,000	SECIHTI
Transporte de materiales y muestras.	$2,500	SECIHTI
Total	**$37,000**	

Agradecimientos

Agradezco primeramente a mis padres por su apoyo y confianza durante todo este proceso. A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica. Al SECIHTI por el apoyo otorgado mediante la beca de posgrado. Al Dr. Emilio Olivares Sáenz, por fungir como director de esta tesis y por su orientación durante el desarrollo de este

trabajo. De igual manera, agradezco a todos los integrantes de mi comité de tesis por sus comentarios, recomendaciones y apoyo para la realización de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Akimbekov, N., Qiao, X., Digel, I., Abdieva, G., Ualieva, P., & Zhubanova, A. (2020). The effect of leonardite-derived amendments on soil microbiome structure and potato yield. Agriculture, 10(5), Article 147. https://doi.org/10.3390/agriculture10050147

Alcántar-González, G. G., & Sandoval-Villa, M. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal: Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. https://es.scribd.com/document/930388214/CP-QK725-A5-Manual-de-Analisis-Quimico-de-Tejido-Vegetal-Autosaved

Ali, Z., Khan, H., & Raza, A. (2018). Response of potato to fulvic acid and inorganic fertilizers. Advances in Agriculture and Animal Sciences, 34(2), 120–125. https://sau.edu.pk/pjaaevs/index.php/ojs/article/view/283

Barbaś, P., Sawicka, B., Skiba, D., Aslan, H., Krochmal-Marczak, B., & Pszczółkowski, P. (2026). Evaluation of effective microorganisms (EMs) as a biostimulation tool for enhancing potato health and resistance against soil-borne pathogens. Agronomy, 16(5), Article 591. https://doi.org/10.3390/agronomy16050591

Biotec Internacional, S. A. de C. V. (2023). Enerplant®: Insumo de nutrición vegetal, líquido concentrado [Ficha técnica].

Biotec Internacional, S. A. de C. V. (s. f.). Enerplant®: Resultados de pruebas en México [Documento técnico de resultados]. Scribd. https://es.scribd.com/document/574571706/ENERPLANT-Resultados-Pruebas-Me-xico-2

Bonini, P., Rouphael, Y., Miras-Moreno, B., Lee, B., Cardarelli, M., Erice, G., Cirino, V., Lucini, L., & Colla, G. (2020). A microbial-based biostimulant enhances sweet pepper performance by metabolic reprogramming of phytohormone profile and secondary metabolism. Frontiers in Plant Science, 11, Article 567388. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.567388

du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories, and regulation. Scientia Horticulturae, 196, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021

Efimova, M. V., Danilova, E. D., Zlobin, I. E. Kolomeichuk, L. V., Murgan, O. K., Boyko, E. V., & Kuznetsov, V. (2023). Priming potato plants with melatonin protects stolon formation under delayed salt stress by maintaining the photochemical function of photosystem II, ionic homeostasis and activating the antioxidant system. International Journal of Molecular Sciences,

24(7), Article 6134. https://doi.org/10.3390/ijms24076134

García-Fajardo, B., Nava-Bernal, G., Álvarez-Arteaga, G., & Franco-Maass, S. (2024). Resiliencia del suelo en los sistemas agrícolas del municipio de Calimaya. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11(3), Article e3466. https://doi.org/10.19136/era.a11n3.3466

Golin, M. F., Giannini, V., Bagarello, M., Vernaza Cartagena, W. C., Giordano, M., & Maucieri, C. (2024). Processing tomato and potato response to biostimulant application in open field: An overview. Agronomy, 14(11), Article 2699. https://doi.org/10.3390/agronomy14112699

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010: Aramberri, Nuevo León. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/19/19007.pdf

Kumar, V., Raha, P., Patel, C., Verma, D. K., & Singh, A. K. (2025). Foliar application of commercial amino acids biostimulants on nutrient uptake and quality of potato tuber. Discover Applied Sciences, 7, Article 1242. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07759-8

Long, S. P., & Bernacchi, C. J. (2003). ¿Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. Journal of Experimental Botany, 54(392), 2393–2401. https://doi.org/10.1093/jxb/erg262

Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., & Lira Saldívar, R. H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de Capsicum annuum por nanopartículas de óxido de zinc. Nova Scientia, 8(17), 140–156. https://doi.org/10.21640/ns.v8i17.544

Morugán-Coronado, A., Gómez-López, M. D., Meno, L., Fernández-Calviño, D., Wustenberghs, H., Schrader, S., Bind, D.-A., Põder, A., Shanskiy, M., Pouta, E., Tienhaara, A., & Calatrava, J. (2024). Fostering sustainable potato production: A collaborative European approach. Agronomy, 14(12), Article 2762. https://doi.org/10.3390/agronomy14122762

Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W.-N., & Biswas, P. (2015). Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (Solanum lycopersicum L.) plant. Metallomics, 7(12), 1584–1594. https://doi.org/10.1039/C5MT00168D

Romero-Lima, M. del R., Trinidad-Santos, A., García-Espinosa, R., & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. Agrociencia, 34(3), 261–269. https://www.agrociencia-

colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/29

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science, 11, Article 40. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2025). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Steyn, J. M., Franke, A. C., van der Waals, J. E., & Haverkort, A. J. (2016). Resource use efficiencies as indicators of ecological sustainability in potato production: A South African case study. Field Crops Research, 199, 136–149. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.020

Valdez-González, G. (2026). Costos y rentabilidad en papa (*Solanum tuberosum*) de riego en Temascaltepec, Estado de México [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México. http://hdl.handle.net/20.500.11799/144265

Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. Terra Latinoamericana, 38(2), 333–345. https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470

Vergara-Carmona, V. M., Cecílio Filho, A. B., de Almeida, H. J., & Gratão, P. L. (2019). Fortification and bioavailability of zinc in potato. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(7), 3525–3529. https://doi.org/10.1002/jsfa.9572

Wang, Y., Zhang, R., Li, S., Guo, X., Li, Q., Hui, X., Wang, Z., & Wang, H. (2024). An evaluation of potato fertilization and the potential of farmers to reduce the amount of fertilizer used based on yield and nutrient requirements. Agronomy, 14(3), Article 612. https://doi.org/10.3390/agronomy14030612

Xu, F., Liu, Y., Li, J., Zhu, J., Wu, N., & Meng, A. (2025). Effects of a novel fulvic acid-enriched water-soluble fertilizer on potato growth, yield, and water-fertilizer use efficiency under different drip irrigation regimes. Frontiers in Plant Science, 16, Article 1672560. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1672560

Establecimiento de cuatro variedades de fresa bajo dos sistemas de producción en el sur de Nuevo León

Alan Reyes-Trejo[1*]; Adriana Gutiérrez-Díez[1]; Luis Enrique Espinoza-Orozco[1]; Eleazar Lugo-Cruz[1]; José Ramon Saucedo-Carabez[2]; Horacio Eliseo Alvarado-Raya[3].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
[2]Departamento de Investigación Aplicada. Driscoll´s Operaciones. Unidad Ciudad Guzmán. Cd. Guzmán, Jalisco. México.
[3]Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México.
*Email: alan.reyestr@uanl.edu.mx

Resumen. El cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) representa uno de los sistemas hortícolas de mayor relevancia en México, generando un ingreso de más de 17.300 MDP (FAOSTAT, 2025). El mercado concentra su producción en los estados de Michoacán, Baja California, Guanajuato y Jalisco. Estableciéndose como un cultivo estratégico en el país y aumentando su presencia hacia diferentes estados como Chihuahua, Hidalgo y Zacatecas (SIAP, 2025), destacando su potencial en programas de introducción de nuevos cultivos (Estrada *et al*., 2020). En el presente estudio, se evaluará la adaptación fisiológica, agronómica y productiva de cuatro variedades de fresa bajo condiciones de invernadero y campo abierto. El experimento se desarrolló en el campo experimental de la Unidad Académica La Ascensión, de la Facultad de Agronomía, UANL. El crecimiento del cultivo se evaluará a través de las variables de respuesta: IAF, TAN, TCR y TAC, determinando el IC y acumulación de biomasa mediante MS y MF; así como las variables fisiológicas de TF, TT, CE, EUA. Además de determinar el crecimiento en órganos y los GGD/DDT por etapa fenológica. En los frutos se analizará el dulzor, AcT, firmeza, pH y color.
Palabras clave. *Fragaria x ananassa*, fisiología, crecimiento y desarrollo, producción de cultivos

Abstract. Strawberry cultivation (*Fragaria* × *ananassa*) represents one of the most relevant horticultural systems in Mexico, generating an income of more than 17,300 MDP (FAOSTAT, 2025). The market concentrates its production in the states of Michoacán, Baja California, Guanajuato and Jalisco. Establishing itself as a strategic crop in the country and increasing its presence towards different states such as Chihuahua, Hidalgo and Zacatecas (SIAP, 2025), highlighting its potential in crop introduction programs (Estrada *et al*., 2020).
In the present study, the physiological, agronomic and productive adaptation of four commercial strawberry varieties will be evaluated under greenhouse and open-field conditions. The experiment was developed in the experimental field of the La Ascensión Academic Unit, of the Faculty of Agronomy of the UANL. The growth of the crop was evaluated through the response variables: IAF, TAN, TCR and TAC, determining the IC and biomass accumulation through MS and MF; as well as the physiological variables of TF, TT, CE, EUA. In addition to determining the growth in organs and the GGD/DDT per phenological stage. In fruits, sweetness, AcT, firmness, pH and color will be evaluated.
Keywords: *Fragaria x ananassa,* physiology, growth and development, crop production.

Introducción

El cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en México experimenta un crecimiento acelerado en cuanto a su potencial productivo y presencia en el mercado nacional e internacional; en el último año registró un aumento del 4 % en exportaciones (USDA FAS, 2025). A la fecha se posiciona como una de las hortalizas con mayor explotación a nivel mundial y es el ejemplar más cultivado en México dentro del grupo de las berries (54 %) o frutillas (ANEBERRIES, 2025). En 2025 se registró una producción mayor a 659,000 t, en una superficie de siembra de 15,557 ha, y un ingreso de más de 17.300 MDP (SIAP, 2025); el 52.2 % de la producción se destina a mercado internacional.

La producción de fresa en México se concentra principalmente en los estados de Michoacán, Baja California, Guanajuato y Jalisco, con 411 mil, 137 mil, 107 mil y 17 mil toneladas, respectivamente. (SIAP, 2025). El cultivo presenta una alta adaptabilidad a condiciones ambientales, siendo catalogado como un cultivo estratégico para sistemas agrícolas e intensivos (Estrada *et al*., 2020; FAO, 2021), volviéndolo una opción de interés para los productores del país.

El sur de Nuevo León presenta sistemas agropecuarios de baja rentabilidad, escasa diversificación productiva y altos índices de pobreza, concentrando únicamente el 1.6 % de la población estatal y aportando solo el 0.26 % del PIB de Nuevo León, en contraste con el Área Metropolitana de Monterrey, que concentra más del 85 % de la población y genera el 89.47 % del PIB estatal. En este contexto, la introducción de cultivos de alto valor comercial, como la fresa, representa una alternativa para diversificar la producción agrícola, incrementar los ingresos de los productores y fortalecer el desarrollo económico regional. Además, las condiciones agroclimáticas favorables de la región y su proximidad a uno de los principales centros de consumo del noreste de México favorecen su viabilidad productiva y comercial, contribuyendo potencialmente a reducir las brechas socioeconómicas que afectan a la zona sur del estado.

La introducción de cultivos en regiones nuevas enfrenta diversas limitantes en su adaptación como la variabilidad edafoclimática, sistemas de producción, variedades de bajo potencial, falta de tecnología y la ausencia del conocimiento técnico (Escobar-Molina y Tax-Sapón, 2024), las cuales, en conjunto pueden determinar el éxito o fracaso de la producción.

La adaptación del cultivo es la capacidad de un genotipo para mantener el desempeño agronómico estable y eficiente bajo condiciones ambientales específicas (Allard y Bradshaw, 1964). Este concepto se encuentra fuertemente ligado con la interacción genotipo por ambiente (G x A), el cual explica la variabilidad fenotípica de un cultivo a través las condiciones ambientales que lo rodean (Yan & Kang, 2003) y está directamente relacionado con la fenología, ya que permite comprender y predecir el desarrollo del cultivo en función de variables ambientales (Huang *et al.,* 2026). En este sentido, la evaluación de la

adaptabilidad de los cultivos debe incorporar aspectos relacionados con producción, fisiología, ambiente y su interacción.

En el caso del cultivo de fresa, no existe investigación científica, paquetes tecnológicos, fichas técnicas o experiencias que evalúen la adaptación y el comportamiento en la región sur de Nuevo León, por lo que es necesario evaluar su adaptación integrando variables fisiológicas, agronómicas y ambientales, con un enfoque científico y técnico que contribuyan al desarrollo de sistemas resilientes, diversificados y orientados al desarrollo social y económico de la ZSNL. Así, el objetivo general de esta propuesta es evaluar la adaptación agronómica, fenológica, fisiológica, y de calidad de cuatro variedades de fresa cultivadas bajo dos ambientes en la localidad de La Ascensión, en Aramberri, Nuevo León con el fin de identificar su desempeño y estabilidad.

Materiales y Métodos

El estudio se estableció en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión, en el municipio de Aramberri, Nuevo León, México: 24°19´N" Latitud Norte y 99°56´34" Latitud Oeste a 2,011 msnm, que presenta un clima templado subhúmedo (INEGI, 2026). Se utilizaron cuatro variedades comerciales de fresa de día corto: Víctor, Palmerita, Lucía y Cleopatra. Las plántulas a raíz desnuda fueron proporcionadas por un vivero comercial localizado en el municipio de Tangamandapio, Michoacán, a una altitud entre 2,400 y 2,497 msnm, con clima templado subhúmedo y lluvias en verano.

La planta de fresa fue recibida del 01 de septiembre y transportada desde Michoacán en cajas de plástico envueltas en bolsas de plástico transparente (Figura 1), se almacenaron en cuartos frescos y ventilados, con oscuridad durante el día y expuestos a la intemperie durante la noche. Las bolsas se mantuvieron cerradas, y sólo de abrieron para inspección de las plantas.

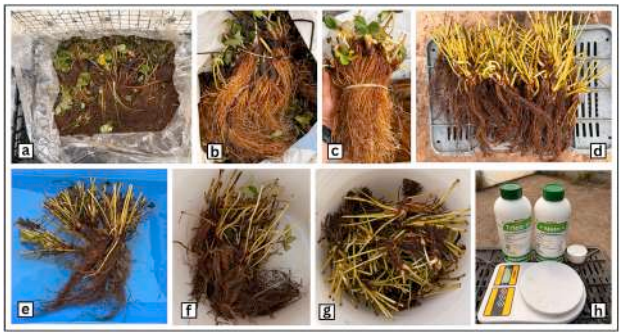


Figura 1. a) Formato de envío de plántula. **b)** Variedad Lucía. **c)** Variedad Palmeritas. **d)** Variedad Cleopatra. **e)** Lavado de plántula. **f)** Plántula previa al lavado. **g)** Plántula con raíces podadas. **h)** Productos biológicos empleados

Establecimiento en campo abierto. Para la preparación del suelo se realizaron las prácticas de chapoleo, rastra (cuatro repeticiones) y bordeado. Las camas de cultivo se construyeron manualmente con azadones, acamadores y palas.

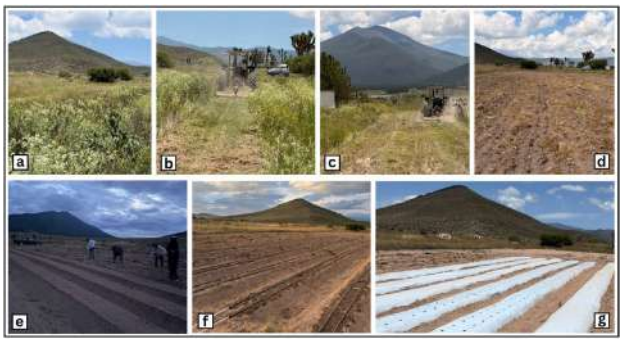


Figura 2. Proceso de preparación del sistema en campo abierto. **a)** Estado inicial de la parcela. **b y c)**

Chapoleo. **d)** Delimitación. **e)** Construcción de camas. **f)** Instalación de sistema de riego e hidratación. **g)** Acolchado.

Se construyeron seis camas de siembra de 25.2 m de largo, 0.6 m de ancho y 0.3 m de alto, cubiertas por un acolchado plástico color blanco. El marco de plantación se estableció a tresbolillo con doble hilera y a una distancia entre plantas de 0.30 m, y entre hileras de 0.35 m, ubicando caminos de 0.70 m de ancho entre cada cama. Se utilizó un sistema de riego conformado por dos cintillas de 1 L/H y emisores a 20 cm por cada cama de cultivo. Es importante mencionar que el sistema se estableció en un predio con más de cuatro años sin actividad agrícola.

El proceso de trasplante en el sistema a campo abierto se realizó el 12 de septiembre durante el atardecer. Para la preparación de las plantas de fresa se realizó su lavado con agua de riego, retirando los restos de suelo y materia orgánica. Posteriormente se realizó poda del sistema radicular, conservando un largo aproximado de 8 cm y sometiendo a inmersión en una solución de *Trichoderma* (Tricobio, 2 mL /L) y *Metarrizhium* (Meta A, 2 mL/L), durante 5 minutos. Finalmente, las plantas inoculadas fueron colocadas en cubetas secas y limpias hasta su establecimiento. Se realizaron perforaciones en el suelo con un implemento casero de forma cónica, estableciendo la raíz en posición vertical, evitando torceduras.

El trasplante se realizó bajo condiciones de humedad del suelo a CC, durante los primeros 10 días se aplicaron riegos de mantenimiento sin solución nutritiva. Se realizó aplicación vía drench de aminoácidos (Aminocell 500, 2 g/L) y ácidos húmicos y fúlvicos (Ferti-humus, 3 mL/L) en volumen de 50 mL por planta, a los siete días posteriores al establecimiento.

Establecimiento bajo invernadero. En la Figura 3 se observa la preparación del invernadero y camas de siembra.; se utilizó un invernadero tipo multitúnel de 512 m^2 con paredes laterales retractiles, malla antiáfidos, medias lunas fijas y ventilación pasiva. El establecimiento de las plantas se realizó en slabs de fibra de coco (bolis/bolsas rectangulares), de PE color blanco (Greenfizz, Sri Lanka), con medidas de 1 m largo, 0.15 m de ancho y 0.12 m de alto. Cada slab contiene 18 L de fibra de coco pretratada (C.E. < 1 y pH < 6) en una relación 50:50 fibra: chip de cáscara de coco. Previo a la hidratación del sustrato se realizó su lavado con agua corriente. Se instaló un sistema de canalización para agua y drenaje, por medio de espaciadores, canaletas de PE y un sistema de fertirriego



Figura 3. Preparación del invernadero para el establecimiento de fresa. **a y b)** Condiciones previas a la preparación. **c)** Construcción y nivelación de camas. **d)** Acolchado. **e)** Sistema de drenaje. **f)** Montado de slabs. **g)** Instalación del sistema de riego y lavado de sustrato

El trasplante se realizó el 05 de septiembre, durante el atardecer. El acondicionamiento de la planta y trasplante se realizó de la

forma ya descrita. En la Figura 4 se observa el trasplante de las plantas de fresa bajo condiciones de campo y de invernadero.



Figura 4. Trasplante de las plantas de fresa. **a y b)** Trasplante en slabs. **c y d)** Marco de plantación y vista frontal de una cama de cultivo en invernadero. **e)** Selección de plántula. **f y g)** Trasplante a campo abierto y vista frontal de una cama de cultivo.

El nivel de humedad se mantuvo a CC (35-40 %) en los slabs, aplicando únicamente agua de riego (0.6 mS/cm, pH 6.0) durante los primeros 10 días. En la semana posterior al trasplante se realizó una aplicación de ácidos fúlvicos y húmicos (Ferti-humi, 3 mL/L) y aminoácidos (Aminocell 500, 2 g/L) con un volumen de 50 mL por planta y aplicados vía drench.

Condiciones de agua y suelo. El análisis de la calidad del agua de riego determinó que presenta pH ligeramente alcalino de 7.17, EC de 0.63 dS/m y un contenido elevado de HCO3 (4.42 mEq) y Ca (4.54 mEq). De acuerdo con el análisis de suelo el establecimiento a campo abierto cuenta con una densidad aparente de 1.18 g/cm^3 y una proporción del 41 % de arena, 31.6 % de arcilla y 26.92 % de limo. Presenta un pH alcalino (8.04), EC de 0.72 dS/m y un contenido alto de carbonatos totales (37.4 %). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) registró valores de 26.5 mEq/100 g, siendo aceptables para el cultivo. El porcentaje de saturación de bases arrojó valores altos para Ca (86.4 %) y medios para K (8.38 %), obteniendo valores bajos para Mg (4.79 %) y Na (0.57 %).

Nutrición y valores óptimos. De acuerdo con los análisis de suelo y agua, se diseñaron cuatro soluciones nutritivas ideales (Pineda *et al*., 2023) para cada sistema. Siendo 1) establecimiento, cuatro semanas; 2) etapa vegetativa, 6-8 semanas; 3) fructificación, cinco semanas; y 4) fructificación plena, 15 semanas.

Riego y nutrición en campo abierto. La humedad se mantuvo a CC, realizando riegos de mantenimiento según las demandas hídricas del cultivo. Para la definición del valor de CC se utilizaron tensiómetros, el valor se estableció a 15-20 KPa, realizando riegos de mantenimiento a 30-35 kPa. Se calculó un total de 500 L para completar la reposición de agua con los valores descritos. El fertirriego no se realizó siempre de manera simultánea, ya que se separó el aporte de nutrientes y agua en función de los parámetros de EC, pH y humedad en el suelo. El fertirriego de aplica cuando el cultivo lo hacía permisible. Siete días previos al trasplante se comenzó con la aplicación de solución nutritiva.

Riego y nutrición en invernadero. La humedad se mantuvo en una condición de Capacidad de Campo (CC), realizando riegos de mantenimiento según las necesidades hídricas del cultivo. Para el sistema en invernadero, se utilizó un sensor de humedad (%) Pulsemeter de la marca Bluelab, definiendo CC entre 35-40 % de la humedad del slab. Durante el desarrollo del

cultivo, los pulsos de riego aplicados variaron dependiendo de las condiciones, sin superar un volumen mayor a 40 segundos por pulso o marcha.

A partir de la primera semana, el sistema en invernadero recibió fertilización vía riego de acuerdo con la solución nutritiva para la etapa de establecimiento (FIGURA).

MIPE en invernadero y campo abierto. El Manejo integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) se realizó de manera preventiva y correctiva. Como paso anterior al establecimiento, se retiraron malezas y se realizaron dos aplicaciones de abamectina (ABAMEC, 0,5 mL/L) y carboxamidas (Captan WP 50%, 1.5 g/L) vía foliar. Las acciones preventivas constaron de aplicaciones regulares de *Trichoderma* (Tricobio, 2 mL /L) y *Metarrizhium* (Meta A, 2 mL/L), vía drench y dirigido a la corona. Con la finalidad de proteger contra hongos del suelo e insectos fitopatógenos. El manejo preventivo se acompañó de aplicaciones foliares de caldo bordelés sobre el follaje y aplicaciones de sulfato de cobre pentahidratado esparcido en los caminos.

El control correctivo consistió en la rotación de productos como captan (Captan 50 WP, ADAMA), Tiabendazol (ZIO® WP, Lapisa) y fosetil aluminio (FURONTO, VERSA), enfocado a oomicetos y hongos del suelo y follaje. Todas las aplicaciones se realizaron respetando el esquema, dosis, cultivo y medidas de seguridad indicados en la etiqueta.

Labores culturales. Las principales labores culturales se realizaron en ambos sistemas de producción, a excepción del distanciamiento de las estacas de riego en invernadero. La primera labor consistió en la compactación o corrección del trasplante, realizándose al día siguiente del establecimiento. Esta actividad busca asegurar el desarrollo de la planta y evitar su muerte, ocasionada por un anclaje deficiente de la raíz. Como siguiente labor y con aplicación exclusiva al sistema hidropónico, se realizó el distanciamiento de estaca a las 3 semanas previas al trasplante. La actividad consistió en generar un espacio de entre 10-15 cm entre la estaca y cada corona. Posteriormente, se realizó el corte de flor para ambos sistemas. Realizando el corte manual de los botones florales y flores que se generan prematuramente.

Diseño Experimental. Para el propósito de esta investigación, se establecieron dos experimentos (invernadero y campo abierto), ambos bajo un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones, siendo el factor de bloqueo la pendiente del terreno. Cada experimento corresponde a un sistema de producción: 1) hidropónico en invernadero, y 2) campo abierto.

En el sistema de producción en invernadero, la Unidad Experimental (UE) consistió en seis plantas (equivalente a un slab). Se definieron dos camas de cultivo por cada bloque, obteniendo un total de ocho camas de cultivo. Dentro de cada bloque se repartieron al azar seis slabs (36 plantas), distribuyendo tres de estos para cada cama. Al final de cada cama de cultivo se colocó un slab extra con la variedad más próxima como barrera biológica.

El experimento abarca un total de 144 plantas por variedad y 576 plantas en total, con cuatro UE por bloque y 16 UE en total.

Para el caso del sistema de producción en campo abierto, la UE se conformó de 16 plantas contiguas. Se establecieron seis camas de cultivo, en donde las dos camas de los extremos funcionaron como barrera y no fueron incluidas en el análisis. Las cuatro camas del centro corresponden a cada nivel de bloqueo o repetición, siendo cuatro para este diseño. Dentro de cada bloque o cama, se distribuyeron al azar dos UE por cada variedad, obteniendo un total de 32 plantas por bloque y para cada variedad. Al final se obtuvo un total de 128 plantas por variedad y 512 plantas en total, sumando a 768 con la barrera biológica (sin incluir en el diseño).

Variables ambientales. Para el sistema en invernadero, las variables ambientales que se registraron durante el desarrollo del cultivo son temperatura (T °C), humedad relativa (% HR). Con esta información se construyó un registro del Déficit de presión de Vapor (VPD) (Hernández-Martínez *et al.,* 2023) y Grados Días de Desarrollo (GDD) (Lysiak *et al.,* 2023).

Variables de crecimiento y desarrollo. El crecimiento de la planta se evaluará mediante coeficientes relativos y directos (Lee *et al.,* 2026). Comenzando con el índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasa absoluta de crecimiento (TAC) y tasa relativa de crecimiento (TRC). Para ello, se registrará el número de hojas, área del dosel (cm^2), área foliar (cm^2), longitud del peciolo (cm), diámetro del peciolo (cm), número de coronas, diámetro de coronas (cm), número de flores, número de frutos, realizando seis observaciones por variedad y para cada bloque por muestreo (96 observaciones). Cada muestreo se realizará con una frecuencia de cuatro semanas, iniciando con el primer muestreo a partir de la semana seis (previo al trasplante). Las plantas seleccionadas para los muestreos fueron las mismas. Se utilizarán diferentes equipos y programas computacionales como flexómetros, cinta métrica, soportes, vernier, cámara fotográfica y el software de Adobe Photoshop (versión 26.x).

El índice de cosecha (IC) y biomasa de hojas, peciolos, coronas, flores, frutos y raíces será determinado mediante la diferencia de materia seca (MS) y materia fresca (MF) descrita por Kruger *et al* (2012). Se realizarán tres muestreos destructivos en las etapas de crecimiento vegetativo, fructificación y fructificación plena. Empleando una repetición por variedad y para cada bloque, con un total de cuatro observaciones por variedad en cada muestreo y para ambos experimentos.

Variables fisiológicas. El estado fisiológico de la planta se evaluará mediante un Analizador de Gases en el Infrarrojo (IRGA) LICOR modelo Li-6400-40 (LI-CORInc., Lincoln, NE, USA), para determinar la tasa fotosintética (TF), tasa de transpiración (TT), conductancia estomática (gas), eficiencia en el uso del agua (EUA) y la concentración intercelular de CO_2 (Ci). El registro de los datos se realizará en las mismas plantas evaluadas durante el ciclo y bajo la misma hora del día (Makouate *et al.,* 2026). Se evaluarán dos plantas correspondientes a cada bloque y para cada variedad, obteniendo un total de 8

observaciones por variedad y 32 observaciones por muestreo.

Análisis estadístico. Para cada variable se analizarán los supuestos del Análisis de Varianza (ANOVA) mediante pruebas de Shapiro Wilk, gráficos Q-Q plot, pruebas de Levene y gráficos de dispersión de residuos. Además, se realizaron ANOVA combinados, pruebas de comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$) y análisis de correlación de Pearson. Los datos se analizarán mediante el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.,* v2020).

Resultados y discusión

A la fecha de entrega del escrito, no se ha iniciado con la toma de datos de variables de crecimiento y desarrollo. La toma de datos y muestreos iniciará a partir de la primera semana de noviembre.

Conclusiones

Se cumplió con el establecimiento de las cuatro variedades de fresa bajo los dos ambientes de producción. El desarrollo del cultivo a la fecha es adecuado.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca para cursar los estudios de posgrado, a la Facultad de Agronomía por el apoyo en las instalaciones empleadas y la Universidad Autónoma de Nuevo León por los recursos académicos y soporte durante el experimento.

Referencias Bibliográficas.

Agustín Domínguez, F. (2018). *Sustentabilidad de las unidades de producción campesina que cultivan fresa, Valle de Zamora, Michoacán* (Master's thesis). Colegio de Postgraduados.

Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype–environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4(5), 503–508. https://doi.org/10.2135/cropsci1964.0011183X000400050021x

Alvarado-Raya, H. E., Vázquez-Rodríguez, J. C., Ramírez-Arias, A., Calderón-Zavala, G., & Rivera-del-Río, R. (2021). Phenology and growing degree days of festival strawberry grown on red volcanic rock at two plant densities. *Revista fitotecnia mexicana*, *44*(3), 349-356.

Blum, A. (2011). *Plant breeding for water-limited environments*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Mapa de variables climatológicas (V6)* [Mapa]. Recuperado el 18 de marzo del 2026. https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/

Consejo de Nuevo León para la Planeación Estratégica. Plan Estratégico Nuevo León 2024. Indicadores y objetivos. Recuperado el 18 de abril de 2026. https://planestrategico.conl.mx/indicadores/objetivos

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2025). *Indice de*

Rezago Social. https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/DistritoFederal/Paginas/principal.aspx

Costa, R. C. D., Calvete, E. O., Spengler, N. C. L., Chiomento, J. L. T., Trentin, N. D. S., & Paula, J. E. C. D. (2020). Morpho-phenological and agronomic performance of strawberry cultivars with different photoperiodic flowering responses. *Acta Scientiarum. Agronomy*, *43*, e45189.

De-la-Cruz, I. M., Batsleer, F., Bonte, D., Diller, C., Hytönen, T., Luis Izquierdo, J., ... & Stenberg, J. A. (2025). Genotypic responses to different environments and reduced precipitation reveal signals of local adaptation and phenotypic plasticity in woodland strawberry. *Annals of Botany*, *136*(3), 611-621.

Escobar-Molina, M. C., & Tax-Sapón, V. M. (2024). Producción de fresas en Chimaltenango: problemas y limitaciones. *Análisis de la Realidad Nacional*, *13*(268).

Estrada Nolasco, C. (2011). *Caracterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (Fragaria x Ananassa) para el subtrópico* (Master's thesis). Colegio de Postgraduados.

González-Molina, E., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2009). A new drink rich in healthy bioactives combining lemon and pomegranate juices. *Food Chemistry*, *115*(4), 1364-1372.

Hamad, A., & Hartanti, D. (2023, June). Effects of extraction time on total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activities of a polyherbal drink. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1200, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.

Hernandez-Martinez, N., Salazar-Gutierrez, M., Chaves-Cordoba, B., Wells, D., Foshee, W., & McWhirt, A. (2023). Model development of the phenological cycle from flower to fruit of strawberries (Fragaria× ananassa). Agronomy, 13(10), 2489.

Huang, Z., Lee, W., Ampatzidis, Y., Agehara, S., & Peres, N.A. (2026). PheMuT: A phenology-informed, multi-modal time-series model for strawberry yield forecasting. *Comput. Electron. Agric., 244*, 111526.

Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food chemistry*, *126*(4), 1821-1835.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). *Producto Interno Bruto por entidad federativa 2025*. *ht*tps://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.aspx?pr=39&vr=3&in=2&tp=20&w

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). *Climatología. 2026*. https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/

Krüger, E., Woznicki, T. L., Heide, O. M., Kusnierek, K., Rivero, R., Masny, A., ... & Sønsteby, A. (2022).

Flowering phenology of six seasonal-flowering strawberry cultivars in a coordinated European study. *Horticulturae*, *8*(10), 933.

Leyva, B. M., Jiménez, J. A. Y. M., Castañeda, M. Y. O., Benitez, F. J. B., Martinez, P. G., & Estrada, R. G. (2025). Compuestos Naturales Contra Patógenos Fúngicos en Fresa: Protección de fresas contra hongos. *INVURNUS*, *20*(1).

Łysiak, G. P., & Szot, I. (2023). *The Use of Temperature Based Indices for Estimation of Fruit Production Conditions and Risks in Temperate Climates. Agriculture 2023, 13, 960*.

Martínez Pérez, M. E., Ruíz Anchondo, T. D. J., & Jacobo Cuéllar, J. L. (2023). La fresa (Fragaria X ananassa): su valor económico y cultural en México e importancia en la producción de antioxidantes.

Olmos-Oropeza, G., *et al*. (2021). Adopción del cultivo de fresa (*Fragaria* × *ananassa*) en el centro norte de México. *Agro-Divulgación*, 1(1).

Opstad, N., Sønsteby, A., Myrheim, U., & Heide, O. M. (2011). Seasonal timing of floral initiation in strawberry: Effects of cultivar and geographic location. *Scientia horticulturae*, *129*(1), 127-134.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). Strawberry preservation. https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1623875/

Sariego-Frómeta, S., Marin-Morán, J. E., Ochoa-Pacheco, A., Rivero-Breff, D., & Sariego-Tamayo, O. R. (2015). Determinación de metales, fenoles totales y flavonoides totales en extractos de las hojas de Petiveria alliacea L.(anamú). *Revista CENIC Ciencias Químicas*, *46*(1), 155-163.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2025). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (AEPA).* https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Villalobos Díaz, J. E., *et al*. (2014). Evaluación de variedades de fresa en diferentes ambientes. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 43–47.

Evaluación de bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en invernadero

Alberto Luis Morales-González[1*]; Emilio Olivares-Sáenz[1]; Rigoberto Vazquez-Alvarado[1]; Carlos Garza-Alonso[1]; Luis Alberto Sumoano-Barragan[1]; José Gerardo Uresti-Porras[1].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 8396-3436. *Email: alberto.moralesgn@uanl.edu.mx

Resumen. El proyecto tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de diferentes bioestimulantes como microalgas, aminoácidos y bacterias en el crecimiento vegetativo y el rendimiento del pimiento morrón (Capsicum annuum L.) cultivado en invernadero. Frente a la alta dependencia de fertilizantes químicos y reguladores sintéticos en sistemas intensivos, la propuesta busca optimizar la nutrición vegetal mediante prácticas más eficientes y sostenibles. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar para evaluar los siguientes tratamientos: T1, control; T2, extractos de algas marinas; T3, aminoácidos; T4, Methylobacterium. El desarrollo del cultivo se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la UANL bajo condiciones de invernadero. Los tratamientos fueron evaluados considerando las siguientes variables de crecimiento (altura de planta, diámetro de tallos y biomasa) y parámetros de rendimiento (número y peso de frutos), así como la calidad del fruto (solidos solubles y firmeza). Entre los principales resultados esperados se encuentra la identificación del bioestimulante que ofrezca la mejor respuesta agronómica, el incremento significativo del vigor y la productividad del cultivo, y la validación de protocolos que brinden a los agricultores de la región alternativas viables para mejorar su competitividad mediante una agricultura regenerativa y ambientalmente responsable.
Palabras clave. Extracto de algas, aminoácidos, methylobacterium.

Abstract. This project aims to evaluate the effect of applying different biostimulants including microalgae, amino acids, and microbial products on the vegetative growth and yield of bell pepper (Capsicum annuum L.) cultivated under greenhouse conditions. Given the high dependence on chemical fertilizers and synthetic growth regulators in intensive systems, the research proposes optimizing plant nutrition through more efficient and sustainable practices. The experiment has been conducted using a completely randomized design, with the following treatments: T1 (Control), T2 (seaweed), T3 (amino acids), and T4 (Methylobacterium). Crop development has taken place at the facilities of the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Nuevo Leon under controlled greenhouse conditions. The evaluated variables will include growth parameters (plant height, stem diameter and biomass), yield components (number and weight of fruits), and fruit quality attributes (soluble solids content and firmness). The expected outcomes include the biostimulant that provides the best agronomic response, achieving a significant increase in crop vigor and productivity, and validating protocols that offer regional farmers viable alternatives to improve competitiveness through regenerative and environmentally responsible agriculture.
Keywords: seaweed extracts, aminoacids, methylobacterium.

Introducción

La horticultura protegida en México ha experimentado un crecimiento acelerado en las últimas décadas, consolidándose como un pilar fundamental de la economía agrícola nacional. Dentro de ese sector, el pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) destaca como uno de los cultivos con mayor demanda tanto en el mercado interno como para la exportación, principalmente hacia los Estados Unidos. Este crecimiento ha sido impulsado no solo por la demanda comercial, sino también por la capacidad del cultivo para adaptarse a sistemas intensivos bajo condiciones controladas, lo que permite mantener una producción constante durante todo el año. Adicionalmente, el cultivo de pimiento morrón en invernadero ofrece ventajas competitivas importantes, como una mayor uniformidad en la calidad del fruto, mejor control fitosanitario y una mayor eficiencia en el uso de recursos. Sin embargo, esta intensificación productiva también ha incrementado la presión sobre los sistemas agrícolas, obligando a los productores a depender en mayor medida de insumos externos para mantener altos niveles de rendimiento (Luna-Ortega *et al*., 2025; Jasso de Rodríguez *et al*., 2023).

La producción en invernadero permite controlar variables ambientales y optimizar el uso de insumos; sin embargo, este sistema intensivo a menudo conlleva una alta dependencia de fertilizantes químicos y reguladores de crecimiento sintéticos Esta dependencia responde a la necesidad de sostener altas tasas de crecimiento y productividad, pero al mismo tiempo genera efectos adversos en el mediano y largo plazo. Diversos estudios han documentado que el uso continuo de fertilizantes sintéticos puede alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando su capacidad de retención de nutrientes (Halshoy & Sadik, 2025; Bilenky *et al*., 2023).

Esta situación ha generado una creciente preocupación por la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, la salud del suelo y el incremento en los costos de producción. En ese sentido, organismos internacionales han señalado que el modelo agrícola actual requiere una transformación hacia prácticas más sostenibles que permitan conservar los recursos naturales y reducir el impacto ambiental. Además, el incremento de los costos de los fertilizantes y otros insumos ha reducido los márgenes de ganancia para los productores, lo que hace necesario buscar alternativas que permitan mejorar la eficiencia productiva sin incrementar los costos de producción. Esto ha impulsado la investigación y adopción de tecnologías más eficientes y sostenibles (FAO, 2020; UNEP, 2020).

En este contexto, surge la necesidad de implementar tecnologías que promuevan una agricultura más eficiente y respetuosa con el medio ambiente (Di Sario *et al*. 2025). Entre estas tecnologías, los bioestimulantes han cobrado relevancia como una herramienta innovadora que permite mejorar el desempeño de los cultivos sin recurrir exclusivamente al uso de insumos químicos. Los bioestimulantes vegetales se presentan como una alternativa prometedora para abordar estos retos. Según la definición técnica, los bioestimulantes son sustancias o

microorganismos cuya función, cuando se aplican a las plantas o a la rizosfera, es estimular procesos naturales para mejorar la absorción de nutrientes, la eficacia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad de los cultivos (Matthews *et al*., 2025; Ali *et al*., 2022).

A diferencia de los fertilizantes tradicionales, su efectividad no reside en el aporte directo de nutrientes, sino en la activación de rutas metabólicas y fisiológicas que optimicen el potencial genético de la planta. Estos compuestos actúan a nivel celular, promoviendo la síntesis de enzimas, reguladores de crecimiento y metabolitos secundarios que mejoran la eficiencia fisiológica de las plantas. Así mismo se ha demostrado que los bioestimulantes pueden mejorar la interacción entre la planta y su entorno, favoreciendo una mayor adaptación a condiciones de estrés como sequía, salinidad o temperaturas extremas (Reyes-Pérez *et al*., 2018; Ciriello *et al*., 2024).

Asimismo, Matthews *et al*. (2025) y Ali *et al*. (2022) mencionaron que los bioestimulantes pueden mejorar la interacción entre la planta y su entorno, favoreciendo una mayor adaptación a condiciones de estrés como sequía, salinidad o temperaturas extremas. Estos autores relacionaron el efecto de los bioestimulantes con la activación de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos que fortalecen la respuesta de la planta ante condiciones adversas, incluyendo la regulación osmótica, la síntesis de compuestos antioxidantes y la activación de enzimas relacionadas al estrés. Además, los bioestimulantes contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, lo que permite a las plantas mantener su actividad metabólica incluso bajo condiciones limitantes. Esto es particularmente relevante en sistemas de producción intensiva, donde las plantas están expuestas a variaciones ambientales que pueden afectar su desarrollo. En este sentido, la aplicación de bioestimulantes permite estabilizar el crecimiento y reducir las pérdidas de rendimiento asociadas a factores de estrés (Matthews *et al*., 2025; Ali *et al*., 2022).

Por otra parte, se ha observado que estos productos favorecen una mayor interacción entre la planta y los microorganismos del suelo, promoviendo un ambiente rizosférico más activo y equilibrado. Esto no solo mejora la disponibilidad de nutrientes, sino también incrementa la resiliencia del cultivo a condiciones adversas. En conjunto, estos efectos posicionan a los bioestimulantes como una herramienta clave para enfrentar los desafíos actuales de la agricultura.

Diversos estudios han demostrado que el uso de bioestimulantes basados en extractos de algas, aminoácidos y microorganismos, pueden tener efectos sinérgicos en el desarrollo del pimiento. Estos efectos se manifiestan en una mejora general del crecimiento vegetal, una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes y un incremento en el rendimiento del cultivo. La combinación de estos bioestimulantes permite actuar sobre diferentes procesos fisiológicos de la planta, generando respuestas más completas y sostenidas en el tiempo. En particular se ha documentado que la aplicación de estos compuestos puede incrementar significativamente

parámetros como la altura de la planta, el diámetro del tallo y la biomasa acumulada, lo cual refleja un mayor desarrollo vegetativo. Asimismo, estos efectos positivos se traducen en un aumento en el número de frutos y en su peso, impactando directamente en la productividad del cultivo (Mezeyova *et al*., 2022; Majkowska-Gadomska *et al*., 2021; Oraby & Raswan, 2025). En particular, los extractos de algas marinas contienen compuestos bioactivos como fitohormonas, aminoácidos y polisacáridos que estimulan el desarrollo radicular y mejoran la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. Estos compuestos también actúan como reguladores del crecimiento, favoreciendo una mejor división celular y elongación de tejidos, lo que se traduce en plantas más vigorosas. Además, los extractos de algas han demostrado mejorar la resistencia de las plantas a condiciones de estrés, al activar mecanismos de defensa que incrementan su tolerancia a factores adversos como altas temperaturas o déficit hídrico. Este efecto está asociado con la producción de metabolitos secundarios y compuestos antioxidantes que protegen a las células del daño oxidativo (Mola *et al*., 2019; Ali *et al*., 2021).

Los aminoácidos de origen vegetal actúan como precursores metabólicos que ahorran energía a la planta durante periodos críticos de crecimiento. Esto se debe a que las plantas pueden utilizar estos compuestos directamente en la síntesis de proteínas, evitando procesos metabólicos costosos y permitiendo una respuesta más rápida ente las condiciones de estrés. Asimismo, se ha reportado que la aplicación de aminoácidos mejora el estatus mineral de las plantas, incrementa la concentración de clorofila en las hojas y favorece la actividad fotosintética. Estos efectos contribuyen a un mayor crecimiento vegetativo y a una mayor capacidad productiva del cultivo (Avinash *et al*., 2017). Además, los aminoácidos pueden actuar como agentes quelantes, facilitando la absorción de micronutrientes esenciales.

Los organismos benéficos modifican la rizosfera mejorando la tolerancia al estrés y el rendimiento. Estos microorganismos establecen relaciones simbióticas con las raíces, lo que permite una mejor absorción de nutrientes y una mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles. Así mismo, las bacterias del género Methylobacterium son capaces de producir fitohormonas como auxinas y citoquininas, las cuales estimulan el crecimiento de las plantas. También contribuyen a la fijación de nitrógeno y a la solubilización de fósforo, mejorando la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Bonini *et al*., 2020; Velasco-Jiménez *et al*., 2020).

A pesar de estos beneficios conocidos, existe una variabilidad considerable en la respuesta de los cultivos dependiendo del tipo de bioestimulante, la dosis y las condiciones específicas de manejo en invernadero. Esta variabilidad puede atribuirse a diferencias en las condiciones ambientales, las características del suelo y las practicas agronómicas utilizadas. Por lo tanto, es fundamental realizar investigaciones locales que permitan validar la eficacia de estos productos bajo condiciones específicas de producción. Esto permitirá generar recomendaciones más precisas y mejorar la adopción de

estas tecnologías por parte de los productores (Avasiloaiei *et al*., 2024; Haghighi *et al*., 2025).

La problemática científica de la presente investigación radica en la falta de protocolos estandarizados y evidencia regional específica sobre el desempeño de nuevos bioestimulantes en la producción de pimiento morrón en el noroeste de México. Esta carencia de información limita la capacidad de los productores para tomar decisiones informadas respecto a la incorporación de estos insumos en sus programas de manejo, ya que las respuestas observadas en otras regiones o bajo diferentes condiciones ambientales son replicables en sistemas locales de producción. En este sentido, resulta fundamental generar conocimiento adaptado a las condiciones edafoclimáticas y de manejo propias de la región, que permita evaluar de manera objetiva la efectividad de los bioestimulantes. En el presente trabajo se plantea la hipótesis de que la integración de bioestimulantes en el programa de manejo nutricional mejorará significativamente el vigor de las plantas y el rendimiento comercial en comparación con el manejo convencional (Hernández *et al*., 2021; Jaramillo, 2025). Este planteamiento se fundamenta en evidencia previa que sugiere que los bioestimulantes pueden influir positivamente en procesos fisiológicos clave, como la absorción de nutrientes, la actividad fotosintética y la tolerancia al estrés, lo que se traduce en un desarrollo más equilibrado de las plantas y una mayor eficiencia productiva.

Asimismo, se espera que la aplicación de estos insumos contribuya no solo al incremento del rendimiento, sino también a la mejora de la calidad del fruto, incluyendo parámetros como firmeza, contenido de solidos solubles y uniformidad, aspectos que son determinantes en la comercialización del producto. La mejora en estos atributos puede representar una ventaja competitiva significativa para los productores, especialmente en mercados de exportación donde los estándares de calidad son más exigentes.

Por lo anterior, el objetivo general del proyecto es determinar cuál de los bioestimulantes (extractos de algas marinas, aminoácidos, Methylobacterium) ofrece la mejor respuesta agronómica en términos de crecimiento vegetativo, productividad y calidad del fruto.

Los resultados obtenidos no solo contribuirán al conocimiento académico, sino que también ofrecerán soluciones prácticas para los agricultores de la región con la finalidad de que mejoren su competitividad mediante prácticas agrícolas regenerativas y económicamente viables. En este sentido, la investigación pretende cerrar la brecha existente entre la generación de conocimiento científico y su aplicación en campo, facilitando la adopción de tecnologías que promuevan una agricultura más sostenible, eficiente y orientada a la reducción de costos y el incremento de la rentabilidad.

Materiales y Métodos

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la UANL ubicada en Francisco I. Madero S/N, EX Hacienda del

Canadá, 66050, Gral. Escobedo, N.L. (Latitud 25.87489 N, Longitud 100.04518 O). El experimento se desarrolló bajo condiciones controladas de invernadero, garantizando un ambiente óptimo para el cultivo de pimiento morrón y la evaluación de los tratamientos.

Material Biológico. La variedad de pimiento morrón que se utilizó es Levente de la empresa Enza Zaden, debido a su alta demanda comercial y su adaptabilidad a sistemas de producción en invernadero. Las semillas fueron adquiridas de un proveedor certificado para asegurar su calidad y uniformidad genética.

Diseño experimental y Tratamientos. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 6 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo compuesta por dos plantas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes bioestimulantes comerciales, incluyendo:

T1: Control (sin aplicación de estimulantes).
T2: Bioestimulante a base de extractos de algas marinas (e.g., Ascophyllum nodosum).
T3: Bioestimulante a base de aminoácidos.
T4: Bacterias del género Methylobacterium.

Las dosis y frecuencias de aplicación de cada bioestimulante se realizaron siguiendo las recomendaciones del fabricante, ajustadas a las condiciones del cultivo en invernadero. Las aplicaciones se realizaron vía fertirriego y/o foliar, según la naturaleza del producto. Los tratamientos se aplicaron 15 días después del trasplante, midiendo previamente la altura y el número de hojas de cada planta.

Manejo agronómico: La siembra se realizó en charolas de poliestireno con sustrato inerte (e.g. turba y perlita). El trasplante se realizó cuando las plántulas tuvieron entre 4 y 6 hojas verdaderas a macetas individuales de cultivo con volumen de 20 litros, utilizando un sustrato a base de turba y perlita en una proporción al 50% cada una.

El riego se manejó mediante un sistema de goteo, ajustando la frecuencia y duración según las necesidades hídricas del cultivo y las condiciones ambientales del invernadero. La nutrición se realizó con una solución nutritiva estándar (Cuadro 1) para pimiento morrón, aplicada mediante fertirriego.

Cuadro 1. Solución nutritiva para pimiento.

	NO_3^-	K^+	Ca^{++}	$H_2PO_4^-$	Mg^{++}	$SO_4^=$
Meq.L^{-1}	12	6	10	1.5	4	3
	Fe	**Mn**	**Cu**	**Zn**	**B**	**Mo**
ppm	1.5	0.8	0.06	0.3	0.4	0.05

Variables que se evaluaran: Las siguientes variables de crecimiento y rendimiento se registraron periódicamente:

-Variables de crecimiento:
- -Altura de planta
- -Diámetro de tallo
- -Número de hojas
- -Biomasa fresca y seca

-Variables de Rendimiento:
- -Número de frutos por planta
- -Peso promedio de fruto
- -Rendimiento total

-Variables de calidad de Fruto:
-Solidos solubles totales
-Firmeza del fruto

Análisis estadístico: Los datos serán sometidos a un análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. En cada variable se llevará a cabo una revisión de las suposiciones de igualdad de varianzas y normalidad, mediante las pruebas de Levane y Kolmogorv-Smirnov, respectivamente. En caso de encontrar diferencias, se realizará la prueba de Tukey para la comparación de medidas. Todos los análisis estadísticos se llevarán a cabo utilizando el software estadístico SSPS con un nivel de significancia de p menor o igual a 0.05.

Resultados y Discusión

Establecimiento y germinación del material vegetal.

Setenta y dos semillas de pimiento morrón (Capsicum annuum L.) variedad Levente F1 se sembraron el día 3 de septiembre de 2026. Durante la etapa de germinación se obtuvieron 63 plántulas, lo que representa un porcentaje de germinación del 87.5%.

Desarrollo de las plántulas y preparación para el trasplante.

Las plántulas se mantuvieron en el semillero durante su etapa inicial de desarrollo. Una vez que alcanzaron cuatro hojas verdaderas, se realizó el trasplante a recipientes de 20 litros, con sustrato 50% de turba (peat moss) y 50% de perlita, con lo que se estableció el cultivo bajo condiciones de invernadero.

Establecimiento del experimento en invernadero.

Durante la primera semana posterior al establecimiento del cultivo, se utilizó una solución nutritiva a base de fertilizante triple 18 (18 N-18 P2O5-18 K2O). Posteriormente se cambió a una solución nutritiva estándar para pimiento morrón (Cuadro 1), con el propósito de proporcionar los nutrientes requeridos para el desarrollo del cultivo.

Adaptación y crecimiento inicial de las plantas después del trasplante.

Después del trasplante se observó una respuesta favorable de adaptación al nuevo medio de crecimiento. Durante los primeros tres a cuatro días posteriores al trasplante, se apreció un crecimiento vegetativo acelerado, particularmente en la expansión de las hojas. El riego se realizó mediante ocho aplicaciones diarias de tres minutos cada una, con un volumen estimado de un litro de solución nutritiva por planta por día. Las observaciones descritas corresponden a una evaluación cualitativa del establecimiento inicial, ya que todavía no se cuentan con datos de altura de la planta, diámetro del tallo o número de hojas verdaderas que permitan cuantificar el crecimiento.

Implementación de los tratamientos experimentales.

Previo al inicio de las aplicaciones, se realizó la asignación aleatoria de las unidades experimentales y se registraron las variables iniciales de crecimiento. Los bioestimulantes se aplicaron de acuerdo con las dosis, frecuencia y el método establecido en el protocolo experimental, considerando las recomendaciones técnicas de los productos. Durante el

desarrollo del experimento se procuró mantener condiciones homogéneas de riego, nutrición y manejo agronómico entre los tratamientos, y se registraron las fechas y características de las aplicaciones. Asimismo, se realizó el seguimiento del crecimiento de las plantas mediante mediciones de altura, diámetro de tallo y número de hojas verdaderas, con el propósito de generar información que permitiera comparar la respuesta de los tratamientos y evaluar sus posibles efectos sobre el desarrollo del cultivo.

Detección y manejo de pulgón durante el establecimiento del cultivo.

A los siete días posteriores al trasplante se detectó la presencia de pulgón en las plantas de pimiento morrón. Como medida de control, se realizó una aplicación del insecticida Horta 25 Tridente, cuyo ingrediente activo es diazinón al 25%, a una dosis reportada de 10 mL de producto por litro de agua. Posteriormente, se aplicó silicio en polvo sobre las hojas de las plantas como medida complementaria de manejo. Estas acciones se realizaron con el propósito de reducir la presencia de la plaga y favorecer el establecimiento del cultivo. La respuesta al tratamiento fitosanitario quedo sujeta al seguimiento posterior de la presencia de pulgones y del estado general de las plantas.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y a la Facultad de Agronomía por facilitarme los recursos e infraestructura necesarios para esta investigación. Mi profunda gratitud se extiende a mi director de tesis el Dr. Emilio Olivares Sáenz, por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante, así como a los miembros de mi comité, por sus valiosas aportaciones y revisiones. Agradezco también al CONAHCYT por el apoyo financiero recibido a través de la beca, que hizo posible la dedicación exclusiva a este proyecto. Al personal técnico del invernadero y del laboratorio, por su asistencia en las actividades de campo y análisis. Finalmente, a mi familia y amigos, por su incondicional apoyo y comprensión durante esta etapa de mi formación académica.

Referencias bibliográficas

Avinash, K., Patil, A.A., y Chavan, S.A. (2017). Effect of biostimulants on growth and yield of Capsicum. “International Journal of Chemical Studies”

Avasiloaiei, Dan Ioan, Creola Brezeanu, Claudia Balaita, Andrea Antal-Tremurici y Mariana Calara. (2024). Evaluating the efficiency of using biostimulants for sweet pepper seedlings. “Acta Horticulturae”.

Bilenky, Moriah, y Ajay Nair. (2023) Bioestimulants combined with water soluble fertilizer had inconsistent effects on bell pepper growth and yield. Journal of Plant Nutrition, 46(12)

Bonini, Paolo, Youssef Rouphael, Begona Miras. (2020). A Microbial- Based biostimulant enhances sweet pepper yield through rhizosphere modification. “Frontiers in plant science”

Ciriello, Michele, Giovanna Marta Fusco, Pasqualina Woodrow, Petronia Carillo y Youssef Rouphael. (2024) Unravelling the nexus of plant response to non-microbial biostimulants. Plant Science.

Di Sario, Luciana, Patricia Boeri, Jose Tomas Matus y Gaston Alfredo Pizzio (2025) Plant biostimulants to enhance Abiotic Stress Resilience in Crops. Plants, 14(2)

FAO (2020) Alternativas para el manejo sostenible de la fertilización. Organización de las Naciones Unidas para el medio ambiente.

Halshoy, H.S. & Sadik, S.K. (2025). Impact of training methods and biostimulants applications on sweet pepper (Capsicum annuum) yield and nutritional values: Under greenhouse conditions. “Horticultural Plant Journal”

Haghighi, Miryam, Mehdi Jalali y Maryam Mozafarian. (2025). The effect of Atonick biostimulant on greenhouse pepper under salt stress. “Scientific Reports”

Hernández, Virginia, Pilar Hellin, Elia Molina, José Fenoll, María Molina, Inmaculada Garrido, Juana Cava, José Eduardo Marques-Gálvez y Pilar Flores. (2021) Ozone and microbial biostimulants increase the bioactive compounds in pepper fruits. Acta Horticulturae.

Jaramillo, Luis Antonio Torres y Rafael Lazo. (2025) Impacto de bioestimulantes en el cultivo de pimiento. Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias.

Jasso-Cantú, Diana, Martín Francisco Rocha-Rivera, Homero Ramírez-Rodríguez, José Ángel Villarreal-Quintanilla, María Lourdes Virginia Díaz-Jiménez, Raúl Rodríguez-García y Dennise Anahí Carrillo Lomelí. (2023). Extractos de plantas como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón. “Ecosistemas y recursos agropecuarios”

Luna-Ortega, J. Guadalupe, Jorge Alberto Ramos-Hernández, Miguel Ángel Gallegos-Robles, David Antonio Zuniga-García, J. Isabel Márquez-Mendoza, Mario García-Carrillo y Anselmo González-Torres. (2025). Evaluación del Crecimiento y Rendimiento de Pimiento Morrón con diferentes fuentes de fertilización y bioestimulantes. ¨Tera Latinoamericana¨

Majkowska-Gadomska, Joanna, Artur Dobrowolski, Krysztof K. Jadwisienczak, Zdzislaw Kaliniewicz y Anna Francke. (2021) Effect of biostimulants on growth, yield and nutritional value of Capsicum annuum grown in an unheated plastic tunnel. “Scientific Reports”.

Matthews, Stella, Asgar Ali y Yasmeen Siddiqui. (2025). Non-encapsulated biostimulants enhance growth and nutritional quality of Capsicum annuum. “Scientia Horticulturae”.

Melo, Paula, Catarina Abreu, Krum Bachevandziev, Glacio Souza Araujo y Leonel Pereira. (2020) Bioestimulants effect of marine microalgae bioextract on pepper grown in greenhouse. Applied Sciences, 10(11).

Mezeyova, Ivana, Ivana Kollarova, Marcel Golian, Julius Arvay, Jan Mezey, Miroslav Slosar, Lucia Golavicova, Roberto Rosa, Martin Bakalar Y Teresa Horecna. (2024) The effect of Humic-Based Biostimulants on the yield and Quality of Capsicum annuum. “Hortuculturae”.

Mola, Ida, Eugenio Cozzolino, Lucia Ottaiano, María Giordano, Youssef Rouphael, Giuseppe Colla y Mauro Mori. (2019). Seaweed extract as biostimulant for bell pepper cultivated in greenhouses. “Agronomy”.

Oraby, S.T.H., & Raswan, A.M.A. (2025). Impact of bio stimulants on the growth performance of Capsicum annuum L. “SVU-International Journal of Agricultural Sciences”.

Reyes-Pérez, Juan José, Marisol Rivero-Herrada, Arturo Enedicto Solorzano-Cedeno, Fernando de Jesús Carballo-Méndez, Gregorio Lucero-Vega y Francisco Higinio Ruiz-Espinoza. (2021). Efecto de bioestimulantes sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de pimiento. “Centro Agrícola”.

UNEP. (2020) Fertilizantes: desafíos y soluciones para proteger nuestro planeta. Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y loa Agricultura.

Velasco-Jiménez, Antonio, Osvaldo Castellanos-Hernández. Gustavo Acevedo- Hernández, Rayn Clarenc Aarland y Araceli Rodríguez-Sahagún. (2020) Bacterias litosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. Terra Latinoamericana, 3883).

Antagonismo *in vitro* de hongos endófitos de árboles de aguacate criollo frente a agentes causales de cancros en ramas

Andrés García-Garza[1*]; Adriana Gutiérrez-Díez[1]; Enrique Ignacio Sánchez-González[2]; Alejandro Ibarra-López[1]; Claudia Lizeth Robledo-Jiménez[1].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399. [2]Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, UABC. Carretera Transpeninsular Km 180.2, Ejido Padre Kino, San Quintín, Baja California, C.P. 22930. Tel. (646) 152 82 21
*Email: andres.garciagr@uanl.edu.mx

Resumen. Los hongos endófitos son un grupo muy diverso de microorganismos que habitan los tejidos internos de las plantas y representan una fuente potencial de agentes de control biológico frente a hongos patógenos. Entre estos, destacan algunos hongos de la familia Botryosphaeriaceae por su asociación con enfermedades de ramas en el cultivo de aguacate. Por ello, el objetivo de este estudio fue aislar hongos endófitos procedentes de tres huertas de aguacate criollo de Aramberri, Nuevo León frente a *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum*, patógenos asociados a cancros en ramas. Se obtuvieron 83 aislados fúngicos a partir de tejido vegetal sano y se evaluó el antagonismo de 39 aislados representativos de los morfotipos obtenidos frente a los patógenos mediante ensayos de cultivo dual. La actividad antagonista se determinó mediante el porcentaje de inhibición del crecimiento radial. Los aislados 2.3R, 3.2R y 3.1R presentaron los mayores porcentajes de inhibición frente a *L. pontae* (68, 67.2 y 66.8 %, respectivamente), mientras que frente a *N. parvum*, destacaron los aislados 3.3T, 3.4T y 3.5R con inhibiciones de 94.1, 93 y 92.3 % respectivamente. Estos resultados permitieron identificar aislados con potencial antagonista para estudios posteriores de identificación taxonómica y evaluación como agentes de control biológico.
Palabras clave. Control biológico, cultivo dual, inhibición del crecimiento radial, *Lasiodiplodia pontae*, *Neofusicoccum parvum*.

Abstract. Endophytic fungi comprise a highly diverse group of microorganisms inhabiting the internal tissues of plants that represent a promising source of biocontrol agents against plant-pathogenic fungi. Among these, certain members of the Botryosphaeriaceae family are particularly relevant due to their association with branch diseases in avocado. Therefore, this study aimed to isolate endophytic fungi from three creole avocado orchards in Aramberri, Nuevo León, and evaluate their antagonistic activity against *Lasiodiplodia pontae* and *Neofusicoccum parvum*, two pathogenic fungi associated with branch cankers. A total of 83 fungal isolates were recovered from asymptomatic plant tissues, of which 39 isolates representing distinct morphotypes were selected for antagonism assays using dual-culture technique. Antagonistic activity was assessed by determining the radial growth inhibition. Isolates 2.3R, 3.2R and 3.1R exhibited the highest inhibition percentages against *L. pontae* (68, 67.2 and 66.8 %, respectively), whereas isolates 3.3T, 3.4T and 3.5R showed the highest inhibition against *N. parvum* (94.1, 93 y 92.3 %, respectively). These findings highlight fungal isolates with promising antagonistic potential, warranting further taxonomic identification and evaluation of their suitability as biocontrol agents.
Keywords: Biological control, dual culture, inhibition of radial growth, *Lasiodiplodia pontae*, *Neofusicoccum parvum*.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) representa uno de los cultivos de mayor importancia en México tanto por su contenido nutrimental (Bhujel *et al*., 2026), como por su relevancia en la producción nacional, que asciende a las 2.79 millones de toneladas (SIAP, 2026), posicionando al país como el mayor productor de este fruto a nivel mundial.

Sin embargo, la producción y la longevidad de los árboles de aguacate se ven continuamente afectadas por la presencia de diversos fitopatógenos, entre los que destacan hongos y oomicetos causantes de pudrición en raíces y cancros en ramas (Fischer y Firmino, 2023).

Los cancros en las ramas pueden estar asociados con un complejo de hongos pertenecientes a la familia Botryosphaeriaceae (Valencia-Bernal *et al*., 2025). La infección puede iniciarse mediante la penetración de esporas a través de heridas recientes ocasionadas por la realización de podas, daños mecánicos, quemaduras solares o lesiones provocadas por heladas (Twizeyimana *et al*., 2013). En aguacate, los cancros pueden exudar savia rojiza que después de secarse, adquiere la apariencia de un polvo blanquecino (McDonald y Eskalen, 2011).

Entre los hongos asociados con esta enfermedad se encuentran *Neofusicoccum parvum*, reportado en México por primera vez en 2019 como agente causal de la muerte regresiva de las ramas en aguacate 'Hass' (Becerra-Morales *et al*., 2019), y diversas especies del género *Lasiodiplodia* spp., capaces de producir lesiones externas en condiciones de altas temperaturas (Avenot *et al*., 2023).

En el contexto agrícola actual, el uso de productos químicos juega un papel importante en los programas de manejo y control de enfermedades de las plantas (Hirooka y Ishii, 2013). Sin embargo, el uso intensivo e inadecuado de fungicidas sintéticos ha traído consigo el desarrollo de resistencia en poblaciones de hongos fitopatógenos, así como a la persistencia o resurgimiento de determinados patógenos (Fenta y Mekonnen, 2024).

En la búsqueda de alternativas sostenibles para el manejo de enfermedades de las plantas, los hongos endófitos han despertado un creciente interés por su potencial para el control biológico de fitopatógenos y su capacidad de activar los mecanismos de defensa vegetal frente al estrés biótico (Fontana *et al*., 2021; Gore *et al*., 2025).

Los hongos endófitos colonizan los tejidos internos de las plantas, y representan un componente esencial en los procesos de absorción de nutrientes, mayor resistencia al estrés y al crecimiento general de la planta (Wen *et al*., 2022).

En el cultivo de aguacate, diferentes estudios han documentado el potencial antagonismo de algunos hongos endófitos, particularmente especies del género *Trichoderma* spp., capaces de inhibir el crecimiento de patógenos como *Phytophthora cinnamomi* (Andrade-Hoyos *et al*., 2015). Sin embargo, la actividad antagonista observada en ensayos *in vitro*

no necesariamente se traduce en el control efectivo de las enfermedades en campo como afirman Pérez-Martínez *et al*. (2018), tras evaluar hongos endófitos del cultivo frente a *Raffaelea lauricola*.

A pesar de estas limitaciones, investigaciones recientes han profundizado en el estudio de las comunidades de hongos endófitos en huertas de aguacate bajo manejo convencional y orgánico (Sánchez-Hernández *et al*., 2025), así como a evaluar la capacidad de determinadas especies de *Trichoderma* spp. para inhibir el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium solani* y *Phytophthora cinnamomi* (Sánchez-Hernández *et al*., 2026).

En este contexto, es relevante ampliar el conocimiento sobre los hongos endófitos asociados al aguacate raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*) en regiones donde su diversidad y potencial antagonista han sido poco explorados. Por ello el presente estudio tiene como objetivo evaluar la actividad antagonista *in vitro* de hongos endófitos aislados de huertas de aguacate ubicadas en Aramberri, Nuevo León, frente a *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum,* mediante ensayos de cultivo dual.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología y Fitopatología de la Facultad de Agronomía en el Campus de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado en el municipio de General Escobedo, N.L.

Muestreo de tejido vegetal. A finales del mes de julio 2026 se recolectó tejido vegetal libre de síntomas de enfermedad y daño por insectos de seis árboles por huerta, en tres huertas (n=18) de aguacate criollo en el municipio de Aramberri, Nuevo León (Cuadro 1). De cada árbol, se colectaron cuatro hojas maduras, cuatro ramas de 1-2 cm de diámetro y cuatro fragmentos de raíces de diferentes zonas del árbol de acuerdo con los puntos cardinales (Shetty *et al*., 2016; Sánchez-Hernández *et al*., 2025). Posterior a su recolección, el tejido vegetal fue almacenado en bolsas de papel y bolsas plásticas con cierre hermético y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C por un máximo de 48 h para su procesamiento.

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las huertas estudiadas.

Huerta	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
H1	24°06'27" N	99°49'45" O	1100
H2	24°06'41"N	99°49'17" O	1080
H3	24°06'29" N	99°49'38" O	1100

Aislamiento de hongos endófitos. El material vegetal fue seccionado en fragmentos de 3 cm de longitud para ser lavado con agua corriente y detergente con el fin de eliminar suciedad e impurezas en el tejido. Posteriormente, en campana de flujo laminar, todo el material se sometió a un proceso de desinfección superficial basado en las metodologías de Hakizimana *et al*. (2011) y Sánchez-Hernández *et al*. (2025) con algunas modificaciones, para ello se realizaron lavados con etanol 50 % por 30 segundos, hipoclorito de sodio 1 % por 30 segundos y se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril. Se retiró el exceso de agua de los fragmentos vegetales con papel absorbente estéril y de

cada muestra se obtuvieron cuatro fragmentos de 5 mm^2 que se establecieron en medio papa dextrosa agar (PDA) acidificado con ácido tartárico 10 % (14 mL L^{-1}) para evitar el crecimiento de bacterias. De manera simultánea, en placas con medio PDA acidificado se estriaron 200 µL del último enjuague con agua destilada estéril como testigo del proceso de desinfección. Las placas se incubaron a 25 °C en condiciones de oscuridad durante 14 días para favorecer el desarrollo de colonias fúngicas. Posteriormente, se seleccionaron colonias con características morfológicas distintas, considerando diferencias en coloración, textura y apariencia del micelio. Las colonias seleccionadas se transfirieron individualmente a placas con medio PDA, donde se mantuvieron hasta observar la formación de estructuras reproductivas, con la finalidad de obtener cultivos puros de los aislados fúngicos. Se utilizó una nomenclatura alfanumérica para identificar a cada aislado, indicando la huerta de procedencia, seguido del número de aislado según el orden de su obtención y el tejido vegetal de origen, usando las letras H, R y T para hoja, raíz y tallo (ramas), respectivamente.

Purificación de cultivos endófitos. Se realizó de acuerdo con el protocolo de Hadjout y Zouidi (2022) con algunas modificaciones, una vez observada la presencia de conidios, estos se transfirieron a tubos Eppendorf de 2 mL que contenían agua estéril. Estas suspensiones se estriaron en placas con medio PDA para la obtención de aislados monospóricos.

Selección de aislados. Los aislados monospóricos se agruparon con base en las características macroscópicas de sus colonias (Solís-García *et al*., 2021). Siguiendo los criterios de selección por morfotipo descritos por Nieves-Campos *et al*. (2024), se seleccionó aleatoriamente un aislado representativo de cada morfotipo. En aquellos morfotipos con cinco o más aislados, se seleccionaron tres aislados para su posterior evaluación. Los aislados seleccionados se cultivaron en medio PDA y se incubaron durante siete días antes de evaluar su actividad antagonista *in vitro* frente a *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum*.

Material patogénico. Para los ensayos de antagonismo *in vitro* se utilizaron aislados de *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum* obtenidos de cancros de árboles de aguacate.

Antagonismo *in vitro*. Llevando a cabo las metodologías descritas por Hamzah *et al*. (2018) y Hayin *et al*. (2025) con algunas modificaciones, se cortaron discos de agar de 0.7 cm de diámetro con micelio activo tanto de los aislados endófitos como de los fitopatógenos. En placas Petri con medio PDA (100 x 15 mm) se establecieron discos de los aislados endófitos a 0. 5 cm de un extremo de la placa, y de manera similar, se establecieron discos de los aislados fitopatógenos en el extremo opuesto de la placa. Los tratamientos consistieron en cultivos duales endófito-fitopatógeno y los testigos consistieron en placas inoculadas de manera individual con los fitopatógenos objetivo. Asimismo, se prepararon cultivos de los hongos endófitos como referencia de crecimiento. Todos los tratamientos fueron realizados por triplicado y se midió el crecimiento de los fitopatógenos a los siete

días de incubación a 25 °C en oscuridad. Se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (ICR) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{ICR}\ (\%)\ =\ \left(\frac{\text{R}_\text{C}\ -\ \text{R}_\text{trat}}{\text{RC}}\right)\ *\ 100,$$

donde R_C representa el radio del micelio del control y R_{trat} el radio del hongo en el cultivo dual (Kim *et al*., 2022).

Registro de interacciones fúngicas. Las interacciones fúngicas observadas fueron registradas y clasificadas de acuerdo con la escala de Wheeler y Hocking (1993), que distingue seis tipos de interacción (A-F) según el patrón de crecimiento de las colonias y los fenómenos de inhibición, contacto y sobrecrecimiento.

Análisis estadístico. Los ensayos se llevaron a cabo por separado para cada fitopatógeno bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Después de probar los supuestos de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, los porcentajes de inhibición del crecimiento radial (ICR) se transformaron mediante la función arcoseno de la raíz cuadrada. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) sobre los datos transformados y en caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05). Los análisis se realizaron mediante el programa Minitab versión 17.1.0. Las gráficas se realizaron a través del programa R Studio versión 2026.10.0+233.

Resultados y Discusión

Obtención y selección de aislados. Se obtuvieron 83 aislados endófitos, de los cuales 26 fueron obtenidos de hojas, 31 de ramas y 26 de raíces de árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*). Con base en sus características morfológicas, los aislados se clasificaron en 31 morfotipos, de los cuales se seleccionaron aleatoriamente 39 aislados representativos, para evaluar su actividad antagonista *in vitro* frente a *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum.*

Ensayos de confrontación dual. Los aislados fúngicos endófitos mostraron distintos niveles de inhibición del crecimiento micelial de los fitopatógenos objetivo durante los ensayos de antagonismo *in vitro*. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para ambos fitopatógenos (Tukey, α = 0.05).

Frente a *Lasiodiplodia pontae*, los mayores porcentajes de inhibición del crecimiento micelial se registraron con los aislados 2.3R (68 %), 3.2R (67.2 %) y 3.1R (66.8 %). Por otra parte, los aislados que presentaron mayor inhibición sobre el crecimiento micelial de *Neofusicoccum parvum* fueron 3.3T (94.1 %), 3.4T (93 %) y 3.5R (92.3 %). Los resultados de la actividad antagonista de los aislados endófitos frente a ambos fitopatógenos se presentan en la Figura 1.

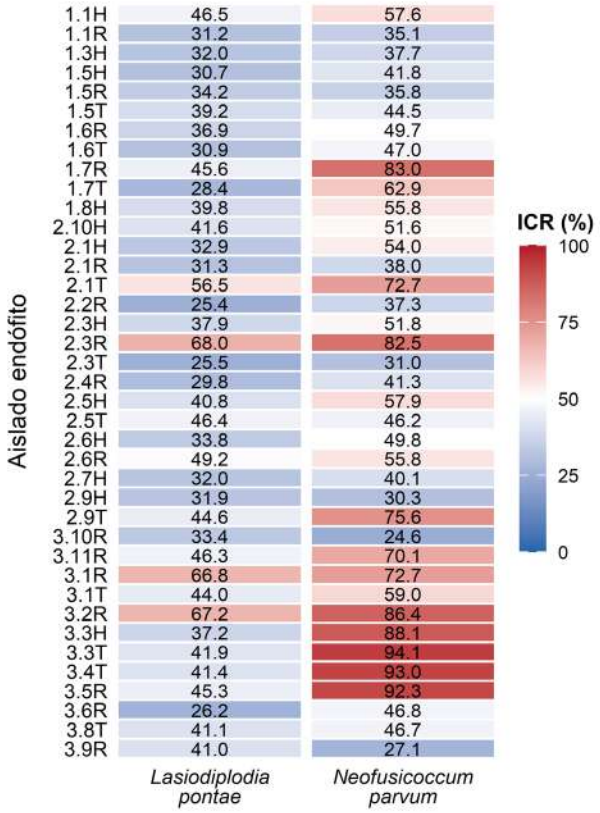
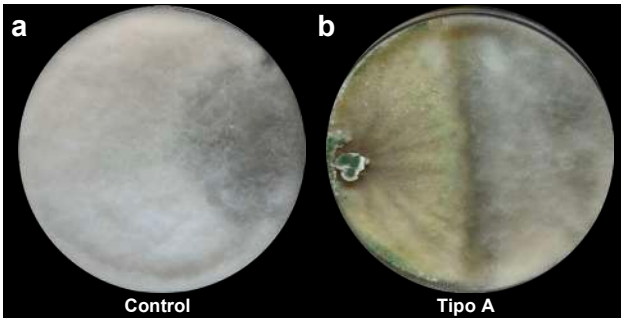


Figura 1. Mapa de calor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (%ICR) de *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum* por 39 hongos endófitos de aguacate criollo en confrontación dual *in vitro*. La intensidad del color representa el porcentaje de inhibición registrado para cada combinación endófito-fitopatógeno.

Lasiodiplodia pontae fue descrito por primera vez en Brasil por Coutinho *et al*. (2017), pero a la fecha la literatura disponible no dispone estudios realizados sobre alternativas biológicas para controlar este fitopatógeno. Por ello, y hasta nuestro conocimiento, este es el primer estudio que evalúa el potencial antagonista de hongos endófitos de aguacate sobre este fitopatógeno, sin embargo, el uso de hongos endófitos ha sido estudiado en otros hongos del género *Lasiodiplodia* como *L. theobromae,* que puede presentar reducción en su crecimiento mediante el uso de cepas de *Trichoderma* spp. (Villanueva-Olivera *et al*., 2026). Por otra parte, se ha demostrado el antagonismo de *Trichoderma citrinoviride* sobre *Neofusicoccum parvum* tanto en condiciones *in vitro* como *in planta* (Kandić *et al*., 2026), pero la interacción entre las comunidades fúngicas endófitas del cultivo de aguacate y este fitopatógeno siguen siendo poco exploradas.

Interacciones fúngicas. El patrón de interacción entre los aislados endófitos y los fitopatógenos fue variable. Tomando como referencia la escala de Wheeler y Hocking (1993), se registró una interacción de Tipo A en el tratamiento *L. pontae* x 2.3R, en la cual ambos hongos crecieron uno hacia el otro, con ambos frentes entremezclados. En el tratamiento *L. pontae* x 3.2R se observó una interacción de Tipo C, dándose una inhibición unilateral por contacto, y en el tratamiento *L. pontae* x 3.1R se dio una interacción de Tipo E, donde se observa un sobrecrecimiento micelial del endófito sobre la colonia del patógeno (Figura 2).

En las confrontaciones con *N. parvum* únicamente se observaron interacciones Tipo D (Figura 3), con inhibición a distancia mayor a 2 mm. Sin embargo, esta restricción del crecimiento pudo estar influenciada por factores experimentales, por lo cual se realizarán ensayos adicionales para asegurar que la actividad antagonista está dada por el aislado endófito.



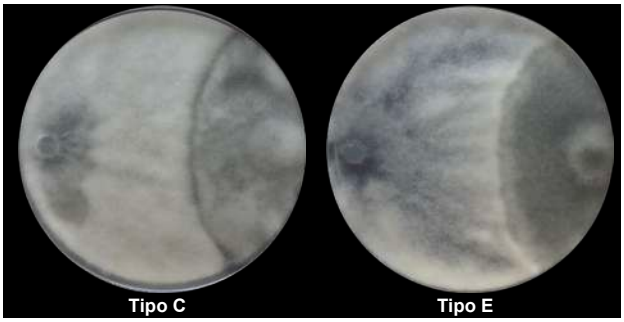


Figura 2. Interacciones observadas entre *Lasiodiplodia pontae* (derecha) y aislados endófitos en medio PDA tras 7 días de incubación. (a) Control del patógeno, (b) 2.3R, (c) 3.2R y (d) 3.1R.

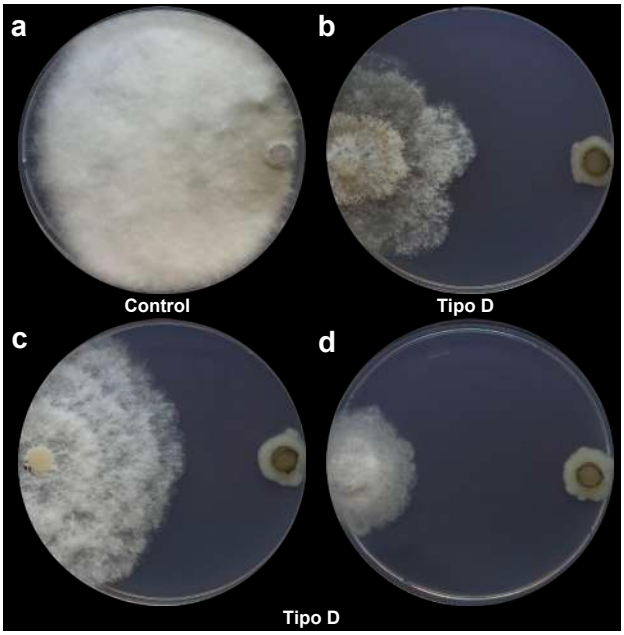


Figura 3. Interacciones observadas entre *Neofusicoccum parvum* (derecha) y aislados endófitos en medio PDA tras 7 días de incubación. (a) Control del patógeno, (b) 3.3T, (c) 3.4T y (d) 3.5R.

Conclusiones

Los hongos endófitos aislados de árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) de Aramberri, Nuevo León, mostraron distintos niveles de actividad antagonista *in vitro* frente a *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum*. Se observaron diferencias en la procedencia tisular y por huerta en aquellos aislados con mayor actividad frente a cada fitopatógeno, destacando aquellos obtenidos de raíces y ramas en la Huerta 3. Estos resultados permitieron seleccionar aislados con potencial para futuras evaluaciones orientadas a su uso como agentes de control biológico de fitopatógenos asociados a cancros en ramas. Sin embargo, es necesario continuar con su identificación taxonómica, así como evaluar los mecanismos involucrados en las interacciones que permiten la inhibición del crecimiento micelial en los fitopatógenos y su eficacia bajo condiciones *in vivo*.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el otorgamiento de la Beca Nacional para Estudios de Posgrado.
A la Secretaría de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de la UANL por el apoyo al proyecto 39-CAAFE-2026.
A la M.C. Karen Guadalupe Cantú Treviño por el otorgamiento de las cepas de *Lasiodiplodia pontae* y *Neofusicoccum parvum.*

Referencias Bibliográficas

Andrade-Hoyos, P., Espíndola-Barquera, M.C., De León, C., Alvarado-Rosales, D., López-Jiménez, A., & Molina-Gayosso, E. (2015). Totipotencialidad en plántulas de aguacate y la resistencia a *Phytophthora cinnamomi*. *Plagues and Diseases*, 147–153.

Avenot, H. F., Vega, D., Arpaia, M. L., & Michailides, T. J. (2023). Prevalence, Identity, pathogenicity, and infection dynamics of Botryosphaeriaceae causing

avocado branch canker in California. *Phytopathology*, *113*(6), 1034–1047.

Becerra-Morales, D., Corrales García, J. E., Almaraz Sánchez, A., Ayala Escobar, V., & Nieto Angel, D. (2019). First report of *Neofusicoccum parvum*, causal agent of dieback on 'Hass' avocado branches (*Persea americana* cv. Hass) in Atlixco, México. *Plant Disease*, *103*(12), 3283.

Bhujel, S., Malathi, D., Suresh, S., Dharani, J., & Vignesh, M. (2026). Avocado as a functional food: nutritional composition and therapeutic potential. *The Voice of Agrians*, *2*(4), 49–52.

Coutinho, I. B. L., Freire, F. C. O., Lima, C. S., Lima, J. S., Gonçalves, F. J. T., Machado, A. R., Silva, A. M. S., & Cardoso, J. E. (2017). Diversity of genus *Lasiodiplodia* associated with perennial tropical fruit plants in northeastern Brazil. *Plant Pathology*, *66*(1), 90–104.

Fenta, L., & Mekonnen, H. (2024). Microbial biofungicides as a substitute for chemical fungicides in the control of phytopathogens: current perspectives and research directions. *Scientifica*, *2024*, 1–12.

Fischer, I. H., & Firmino, A. C. (2023). Main diseases of avocado in Brazil. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, 106–130.

Fontana, D. C., de Paula, S., Torres, A. G., de Souza, V. H. M., Pascholati, S. F., Schmidt, D., & Dourado Neto, D. (2021). Endophytic fungi: biological control and induced resistance to phytopathogens and abiotic stresses. *Pathogens*, *10*(5), 570.

Gore, S., Singh, S., Swarnkar, P., & Rathore, K. S. (2025). Endophyte mediated plant defense responses and their potential against pathogenic bacteria and fungi. *Discover Plants*, *2*(1), 331.

Hadjout, S., & Zouidi, M. (2022). Morphological and cultural characterization of two *Fusarium* isolates causing wheat Fusarium head blight in Algeria. *Notulae Scientia Biologicae*, *14*(4), 11318.

Hakizimana, J. D., Gryzenhout, M., Coutinho, T. A., & van den Berg, N. (2011). Endophytic diversity in *Persea americana* (avocado) trees and their ability to display biocontrol activity against *Phytophthora cinnamomi*. *Proceedings VII World Avocado Congress*, 1–10.

Hamzah, T. N. T., Lee, S. Y., Hidayat, A., Terhem, R., Faridah-Hanum, I., & Mohamed, R. (2018). Diversity and characterization of endophytic fungi isolated from the tropical mangrove species, *Rhizophora mucronata*, and identification of potential antagonists against the soil-borne fungus, *Fusarium solani*. *Frontiers in Microbiology*, *9*.

Hayin, N. F. M., Sapak, Z., & Alegre, A. C. (2025). *Trichoderma asperellum* as a promising biocontrol agent against black rot of malaysian MD2 pineapple. *International Journal of Agriculture and Biology*, *34*(06), 340604.

Hirooka, T., & Ishii, H. (2013). Chemical control of plant diseases. *Journal of General Plant Pathology*, *79*(6),

390–401. https://doi.org/10.1007/s10327-013-0470-6

Kandić, B., Mondello, V., Latinović, J., Fontaine, F., & Latinović, N. (2026). First report of *Neofusicoccum parvum* and *Trichoderma citrinoviride* in Montenegro and evaluation of their interaction in grapevine trunk disease Biocontrol Strategies. *Journal of Phytopathology*, *174*(1).

Kim, J., Roy, M., Ahn, S.-H., Shanmugam, G., Yang, J. S., Jung, H. W., & Jeon, J. (2022). Culturable endophytes associated with soybean seeds and their potential for suppressing seed-borne pathogens. *The Plant Pathology Journal*, *38*(4), 313–322.

McDonald, V., & Eskalen, A. (2011). Botryosphaeriaceae Species associated with avocado branch cankers in California. *Plant Disease*, *95*(11), 1465–1473.

Nieves-Campos, E. I., Méndez-Bravo, A., Pérez-Bautista, Y., Llanderal-Mendoza, J., Guevara-Avendaño, E., Solís-García, I. A., Diyarza-Sandoval, N. A., Contreras-Ramos, S. M., Rodriguez-Campos, J., Méndez-Bravo, A., & Reverchon, F. (2024). Anti-oomycete activity and plant growth promoting properties of avocado fungal endophytes. *Rhizosphere*, *31*, 100931.

Pérez-Martínez, J., Ploetz, R. C., & Konkol, J. L. (2018). Significant *in vitro* antagonism of the laurel wilt pathogen by endophytic fungi from the xylem of avocado does not predict their ability to control the disease. *Plant Pathology*, *67*(8), 1768–1776.

Sánchez-Hernández, D., Ibarra-Juárez, L. A., John, L., & Frédérique, R. (2026). Endophytic fungi from avocado trees exhibit potential for multi-target biocontrol applications. In *bioRxiv* (pp. 1–44).

Sánchez-Hernández, D., Larsen, J., & Reverchon, F. (2025). Diversity of culturable endophytic fungi associated with avocado orchards under organic and conventional management. *Current Microbiology*, *82*(10), 466–478.

Shetty, K. G., Rivadeneira, D. V., Jayachandran, K., & Walker, D. M. (2016). Isolation and molecular characterization of the fungal endophytic microbiome from conventionally and organically grown avocado trees in South Florida. *Mycological Progress*, *15*(9), 977–986.

SIAP. (2026). *Anuario estadístico de la producción agrícola, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Recuperado el 7 de octubre de 2026). https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Solís-García, I. A., Ceballos-Luna, O., Cortazar-Murillo, E. M., Desgarennes, D., Garay-Serrano, E., Patiño-Conde, V., Guevara-Avendaño, E., Méndez-Bravo, A., & Reverchon, F. (2021). Phytophthora root rot modifies the composition of the avocado rhizosphere microbiome and increases the

abundance of opportunistic fungal pathogens. *Frontiers in Microbiology*, *11*.

Twizeyimana, M., McDonald, V., Mayorquin, J. S., Wang, D. H., Na, F., Akgül, D. S., & Eskalen, A. (2013). Effect of fungicide application on the management of avocado branch canker (formerly Dothiorella canker) in California. *Plant Disease*, *97*(7), 897–902.

Valencia-Bernal, V., Pegahrad, Z., Dashtarzhaneh, M. K., & Khodadadi, F. (2025). Identification, characterization, and fungicide sensitivity of Botryosphaeriaceae fungi associated with avocado branch canker disease in southern California. *Plant Disease*, *109*(8), 1690–1701.

Villanueva-Olivera, W., Valladolid-Suyón, E., Palomino, M., Paredes J, J. C., Rivas, J., Solórzano, R., & Jaramillo-Carrión, M. (2026). Endophytic *Trichoderma* and *Bacillus* isolates suppress *Lasiodiplodia theobromae*-associated dieback in blueberry under arid coastal conditions. *Scientific Reports*, *16*(1), 15250.

Wen, J., Okyere, S. K., Wang, S., Wang, J., Xie, L., Ran, Y., & Hu, Y. (2022). Endophytic fungi: an effective alternative source of plant-derived bioactive compounds for pharmacological studies. *Journal of Fungi*, *8*(2), 205.

Wheeler, K. A., & Hocking, A. D. (1993). Interactions among xerophilic fungi associated with dried salted fish. *Journal of Applied Bacteriology*, *74*(2), 164–169.

Caracterización agronómica de 23 maíces nativos amarillos (*Zea mays* L.) en el sur de Nuevo León: avances en floración y variables de altura e inserción

Maria Ezvietlana Araujo-Palomo[1*]; Francisco Zavala-García[1]; Eleazar Lugo-Cruz[1]; Jorge Ramsy Kawas-Garza[2;] Paola Leonor García-Coronado[2;] Adriana Gutiérrez-Díez[1]
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
[2]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
*Email: maria.araujopl@uanl.edu.mx

Resumen: El maíz amarillo es insumo estratégico de la alimentación pecuaria en México, y el germoplasma nativo representa un reservorio genético poco aprovechado con fines productivos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar agronómicamente 23 variedades nativas de maíz amarillo del sur de Nuevo León, junto con dos testigos —una variedad nativa de grano rojo y un híbrido comercial amarillo de Sonora—, en la fase de floración y arquitectura de planta. El ensayo se estableció en primavera-verano de 2026, bajo riego, en la Unidad Académica La Ascensión, Aramberri, Nuevo León (1996 msnm), en un diseño de bloques completos al azar con 25 tratamientos y tres repeticiones (75 unidades experimentales de 20 m²; 50 000 plantas ha⁻¹). Se registraron los días a floración masculina y femenina, el intervalo antesis–estigma, la longitud de planta, la altura de mazorca y su relación. El análisis de varianza detectó diferencias entre tratamientos en DFM ($p < 0.0001$), DFF ($p < 0.0001$), AP ($p < 0.0001$), AM ($p < 0.0001$) y AM/AP ($p < 0.0001$), no así en ASI ($p = 0.0620$). Las medias generales fueron 101.21 d, 102.08 d, 0.87 d, 275.22 cm, 139.43 cm y 49.66 %. Los coeficientes de variación (2.74 a 14.41 %) indicaron precisión aceptable. Los materiales más precoces y los más tardíos difirieron en 25.00 d, y la relación mazorca/planta distinguió siete grupos.
Palabras clave: recursos fitogenéticos, floración, arquitectura de planta, bloques completos al azar, *Zea mays*.

Abstract: Yellow maize is a strategic input for livestock feeding in Mexico, and native germplasm is an underused genetic reservoir for productive purposes. This study aimed to agronomically characterize 23 native yellow maize varieties from southern Nuevo León along with two controls —a native, red-grained variety and a commercial yellow hybrid from Sonora— during the flowering and plant-architecture phase. The trial was established in the 2026 spring–summer cycle under irrigation at the Unidad Académica La Ascensión, Aramberri, Nuevo León, Mexico (1996 m AMSL), in a randomized complete block design with 25 treatments and three replications (75 experimental units of 20 m²; 50 000 plants ha⁻¹). Days to male and female flowering, the anthesis–silking interval, plant length, ear height and their ratio were recorded. Analysis of variance detected differences among treatments for DFM ($p < 0.0001$), DFF ($p < 0.0001$), plant length ($p < 0.0001$), ear height ($p < 0.0001$) and ear/plant ratio ($p < 0.0001$), but not for ASI ($p = 0.0620$). Overall means were 101.21 d, 102.08 d, 0.87 d, 275.22 cm, 139.43 cm and 49.66 %. Coefficients of variation (2.74 to 14.41 %) indicated acceptable precision. The earliest and latest materials differed by 25.00 d, and the ear/plant ratio separated seven groups.
Keywords: plant genetic resources, flowering, plant architecture, randomized complete block design, Zea mays.

Introducción

El maíz amarillo ocupa una posición estratégica en la cadena agroalimentaria mexicana por su uso como insumo energético en la alimentación animal. Esa demanda no se cubre con producción nacional por lo que: el país importa el 93.7 % del volumen que consume, según los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2024), en el ciclo 2022/2023 alcanzó un máximo histórico de 18.9 millones de toneladas, de las cuales el 96.2 % correspondió a grano amarillo. La dependencia es, por tanto, a la vez productiva y de calidad, porque el mercado pecuario exige grano amarillo con atributos específicos.

Frente a ese déficit, el germoplasma nativo representa un reservorio genético poco aprovechado con fines productivos. En el sur de Nuevo León, región de condiciones restrictivas y de agricultura predominantemente de temporal, la superficie sembrada con germoplasma nativo disminuyó 64 % entre 2019 y 2023, conforme al registro regional de Lugo-Cruz et.al. proceso que erosiona la base genética disponible justo cuando más se necesita. Las accesiones que aún se cultivan son el resultado de décadas de selección empírica bajo las condiciones locales de suelo, altitud y régimen de humedad; el intercambio de semilla entre productores promueve flujo génico entre localidades y, junto con la introducción de germoplasma mejorado, contribuye a difuminar los límites raciales del germoplasma local (Rivas *et al*., 2022)

La caracterización agronómica es el paso previo indispensable para cualquier programa de aprovechamiento; sin descriptores registrados con criterios comparables, un material nativo no puede recomendarse, ni incorporarse a un esquema de mejoramiento, ni defenderse como alternativa productiva. Las caracterizaciones recientes de maíces nativos los aplican de manera sistemática para que sus resultados sean homologables (Salinas *et al*., 2024). En México la descripción varietal se conduce conforme a la Guía técnica para la descripción varietal de maíz, que define cada característica con su método de medición, su unidad y el estado de desarrollo en que debe observarse (Colegio de Postgraduados *et al*., 2014).

Entre los descriptores, la floración y la arquitectura de planta ocupan un lugar central. Los días a floración determinan la ubicación del ciclo dentro de la ventana de lluvia o de riego disponible, y el intervalo antesis–estigma es un indicador de sincronía reproductiva con valor particular bajo condiciones de estrés, ya que, en ausencia de limitaciones, la antesis y la emergencia de estigmas ocurren de forma sincronizada y el intervalo es corto (Osnato, 2021), mientras que la escasez de agua en floración lo alarga con pérdidas de rendimiento asociadas (Liu *et al*., 2021). La arquitectura, por su parte, condiciona el comportamiento frente a acame, la eficiencia de intercepción de luz y la partición de asimilados hacia la mazorca: la altura de planta y la altura de mazorca son rasgos arquitectónicos clave que influyen en el rendimiento del cultivo (Zhao *et al*., 2021), y una arquitectura alta y plana, ventajosa para el rendimiento individual, resulta poco adecuada para la siembra

densa y conduce a tasas elevadas de acame (Fei *et al*., 2022). En maíz se ha documentado además que la altura de planta mantiene una correlación positiva de magnitud intermedia con el rendimiento, y la altura de mazorca una correlación débil (Priyanto *et al*., 2023).

El presente trabajo documenta la fase de campo de la caracterización de variedades nativas de maíz amarillo del sur de Nuevo León, centrada en días de floración, altura de planta y altura de mazorca. Se trata de un avance: las determinaciones de rendimiento y de calidad químico-nutricional forman parte del proyecto y se reportarán en etapas posteriores.

Hipótesis

Se espera encontrar, entre las 23 variedades nativas de maíz amarillo evaluadas, al menos un genotipo con características de rendimiento y calidad con potencial para utilizarse en la industria pecuaria. En la fase que aquí se reporta, la hipótesis se traduce en que existe variación significativa entre tratamientos para los días a floración, altura de planta y altura de mazorca.

Objetivo general.

Caracterizar agronómicamente de 23 variedades nativas de maíz amarillo del sur de Nuevo León.

Objetivos específicos

- Determinar los días a floración masculina y femenina, y estimar el intervalo antesis–estigma de cada tratamiento.
- Cuantificar la longitud de planta y la altura de la mazorca, y derivar la relación mazorca/planta.
- Estimar la variación de las variables medibles entre tratamientos.

Materiales y Métodos

Sitio experimental y caracterización del suelo

Se estableció el cultivo durante el ciclo agrícola primavera-verano 2026 en la Unidad Académica La Ascensión de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, municipio de Aramberri, Nuevo León, México, a 1996 msnm y bajo condiciones de riego.

Previo a la siembra se realizó un análisis de fertilidad del suelo en la capa 0–30 cm. El suelo presentó clase textural franca, con capacidad de campo de 20.7 %, punto de marchitez permanente de 12.3 % y densidad aparente de 1.42 g/cm³. El pH fue de 8.38, clasificado como alcalino, con 35.7 % de carbonatos totales y salinidad de 0.74 dS/m, considerada baja. El contenido de materia orgánica fue de 3.01 %, el fósforo extractable de 11.9 mg/kg, el potasio de 815 mg/kg y el nitrógeno nítrico de 23.6 mg/kg, con una capacidad de intercambio catiónico de 23.4 meq/100 g. El diagnóstico describe un suelo de textura media, altamente calcáreo, libre de sales, con nivel alto de materia orgánica, moderadamente bajo en fósforo y con deficiencias de hierro, zinc y manganeso disponibles.

Material genético

Se evaluaron 25 tratamientos de los cuales 23 son variedades nativas de maíz amarillo y dos testigos. Las variedades nativas

provienen de localidades del sur de Nuevo León y se identifican de MA-01 a MA-23; los testigos corresponden a un material de grano rojo y uno de grano amarillo. Los testigos se incluyeron como referencia de comportamiento agronómico y se analizaron como parte de la misma serie comparativa; siendo el testigo rojo una variedad nativa y el amarillo testigo un hibrido comercial de Sonora.

Diseño y unidad experimentales

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, con 25 tratamientos por bloque, para un total de 75 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en una parcela de 20 m² (5 m de largo por 4 m de ancho), con cinco surcos distanciados a 0.8 m, 20 plantas por surco y 0.25 m entre plantas, lo que equivale a una densidad de siembra de 50 000 plantas ha^{-1}.

El modelo estadístico fué:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Yij = valor observado del tratamiento i en el bloque j

μ = media general

τi = efecto del tratamiento (Variedades de maíz)

βj = efecto del bloque

εij = error experimental

Manejo agronómico

Se realizaron dos labores de aporque, que consistieron en arrimar tierra a la base de las plantas de la hilera, con función de anclaje de la planta: la primera se efectuó el 8 de julio de 2026 de forma mecanizada con tractor y la segunda el 1 de agosto de 2026 de forma manual, con escardilla mediante yunta, debido a que las plantas ya eran lo suficientemente altas como para permitir la entrada del tractor.

El control del gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) se realizó mediante dos aplicaciones dirigidas al cogollo, sitio donde la larva se establece y se alimenta durante sus primeros instares: los días 5 de julio y 23 de agosto de 2026 se aplicó clorpirifos etil 48 % (Clorpirifos 480 CE), con una dosis de 40 a 50 ml del producto comercial por mochila de 20 litros de agua

Variables evaluadas y descriptores

Las variables se registraron conforme a la Guía técnica para la descripción varietal de maíz (Colegio de Postgraduados *et al*., 2014), que en México es el instrumento con el que se conduce la descripción varietal y que define cada característica con su método de medición, su unidad y el estado de desarrollo en que debe observarse. Se evaluaron cuatro descriptores —días a floración masculina, días a floración femenina, longitud de planta y altura de mazorca—, dos variables derivadas de ellos.

Cuadro 1. Variables evaluadas, descriptor correspondiente en la guía técnica, definición operacional y unidad de medida.

Variable	Descriptor en la guía	Definición operacional	Unidad
Días a floración masculina (DFM)	25. Espiga: floración masculina	Días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la parcela se encuentran en antesis, registrado en el estado 65 (mitad de antesis)	días
Días a floración femenina (DFF)	38. Jilote: floración femenina	Días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la parcela presenta estigmas emergidos, registrado en el estado 65	días
Intervalo antesis–estigma (ASI)	(variable derivada)	DFF − DFM	días
Longitud de planta	43. Planta: longitud	De la superficie del suelo al ápice de la espiga	cm
Altura de mazorca	44. Planta: altura de la mazorca	De la superficie del suelo al nudo de inserción de la mazorca superior	cm
Relación mazorca/planta	45. Planta: relación entre la altura de la mazorca superior y la altura de la planta	AM ÷ LP, expresada como proporción y como porcentaje	proporción (0–1)

Floración masculina y femenina

Las dos variables de floración se registraron a nivel de parcela, por apreciación visual del conjunto de plantas de la unidad experimental, y no sobre plantas individuales. Para la floración masculina se anotó la fecha en que 50 % de las plantas de la parcela se encontraba en antesis. Para la floración femenina se anotó la fecha en que 50 % de las plantas de la parcela presentaba estigmas emergidos; la característica se denomina en la guía Jilote: floración femenina, y su definición exige estigmas de 1 cm de longitud, tal como se presentan en la Figura 1 (Colegio de Postgraduados *et al*., 2014). Los días a floración se obtuvieron por diferencia entre la fecha de floración y la fecha de siembra de cada parcela, y el ASI como la diferencia entre DFF y DFM de la misma parcela.



a) Espiga b) Jilote

Figura 1. Floración masculina y femenina respectivamente

En la Figura 1 se observa una espiga masculina en pleno proceso de floración. Se aprecia con claridad la salida y exposición de las anteras (estructuras alargadas de color pardo-amarillento), las cuales cuelgan fuera de las flores debido al alargamiento de sus filamentos. Asimismo, la imagen muestra el orden natural de la floración: la liberación de polen comienza y se concentra primero en la sección media de la espiga central, mientras que la punta y las

ramificaciones laterales inferiores aún se mantienen cerradas, marcando el inicio progresivo de la etapa reproductiva masculina.

En la misma Figura 1 se observa en el inciso b el estado inicial de la floración femenina donde se aplica una medición directa con regla graduada sobre el ápice de las brácteas. La imagen documenta la extrusión y exposición de las barbas o estigmas en el momento exacto en que alcanzan la longitud lineal de 1.0 cm fuera de las brácteas envolventes, sirviendo como registro visual del cumplimiento del umbral morfométrico establecido para la evaluación fenológica de la parcela.

Longitud de planta y altura de mazorca

La longitud de planta (AP) se midió verticalmente desde la superficie del suelo hasta el ápice de la espiga principal (descriptor 43)), y la altura de mazorca (AM) desde la superficie del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior (descriptor 44). Ambos descriptores se evalúan en el estado 85 de la escala de la guía (Figura 2)

Las mediciones se hicieron el 19 de octubre de 2026, cuando las parcelas se encontraban entre los estados 85 y 92, sobre plantas individuales marcadas dentro de cada unidad experimental, con un máximo de 20 plantas parcela y un mínimo de 15 plantas por parcela según la disponibilidad de material en pie. Se utilizó un estadal telescópico graduado. Cada registro incluyó parcela, tratamiento, bloque, número de planta y las mediciones en centímetros. (Colegio de Postgraduados *et al*., 2014)



Figura 2. Toma de datos de altura de planta y mazorca.

Las mediciones se registraron formalmente en centímetros (cm) desde la superficie del suelo (base del tallo), sirviendo para determinar con exactitud la altura de la planta hasta el ápice de la espiga principal y la altura de inserción de la mazorca medida verticalmente hasta el nudo de origen de la mazorca principal.

Relación mazorca/planta

Se calculó como el cociente entre la altura de mazorca y la longitud de planta, expresado como proporción y como porcentaje. Corresponde a la característica 45 de la guía, definida como la relación entre la altura de la mazorca superior y la altura de la planta (Colegio de Postgraduados *et al*., 2014). Su utilidad es que expresa la posición relativa de la mazorca con independencia del porte, por lo que resulta comparable entre materiales

de longitud distinta. La escala de la guía clasifica la proporción en muy pequeña (≤ 0.25), pequeña (0.26–0.45), media (0.46–0.65), alta (0.66–0.90) y muy alta (> 0.90) (Colegio de Postgraduados *et al*., 2014)

Registro, momento de medición y depuración de datos

Las variables de floración se registraron a nivel de parcela, con la fecha de floración masculina y femenina de cada una de las 75 unidades experimentales. Las variables de longitud de planta y altura de mazorca se midieron sobre plantas individuales marcadas dentro de cada unidad experimental con un total de 1,220 plantas válidas en las 75 parcela. Cada registro incluyó parcela, tratamiento, bloque, número de planta y las mediciones en centímetros. El tamaño de la submuestra es congruente con el criterio de registrar las variables vegetativas en plantas seleccionadas al azar y con el de 15 plantas por parcela en las hileras centrales que emplean otras caracterizaciones de maíces. (Padilla *et al*., 2024).

Análisis estadístico

Con las medias por parcela se calculó, para cada tratamiento, la media y el coeficiente de variación. Se aplicó análisis de varianza conforme al modelo de bloques completos al azar descrito, con tratamiento y bloque como efectos fijos. El coeficiente de variación experimental se calculó como el cociente entre la raíz del cuadrado medio del error y la media general, expresado en porcentaje, y se interpretó como medida de precisión del ensayo. Se reportó el coeficiente de determinación del modelo como la proporción de la variación total explicada por tratamientos y bloques. Cuando el efecto de tratamiento resultó significativo, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) con su diferencia mínima significativa; cuando no lo fue, no se presentan comparaciones de medias. Los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat versión 2020e.

El supuesto de normalidad de los residuales se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk modificada en los seis modelos ajustados. Además, se obtuvieron gráficos de probabilidad normal de los residuales en cinco de las seis variables: DFM, DFF, longitud de planta (AP), altura de mazorca (AM) y relación mazorca/planta (AM/AP). El supuesto de homocedasticidad se verificó mediante la representación de los residuales contra los valores predichos en esas mismas cinco variables. Para el intervalo antesis–estigma (ASI) no se generaron gráficos, de modo que la verificación de sus supuestos se apoya únicamente en la prueba de normalidad.

Resultados y Discusión

Resultados Agronómicos

Floración masculina y femenina (DFM y DFF).

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas entre tratamientos en DFM ($F = 9.46$; $p < 0.0001$) y en DFF ($F = 7.45$; $p < 0.0001$), con efecto de bloque también significativo en ambas variables. La media general fue de 101.21 d para DFM, con un coeficiente de variación de 2.74 % y un coeficiente de determinación de 0.84, y de 102.08 d para DFF, con 3.05 % y 0.81, respectivamente. La diferencia mínima significativa fue de 8.7d en DFM y de 9.8d en DFF.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza para las seis variables evaluadas. Bloques completos al azar, 25 tratamientos, tres repeticiones (n = 75).

Variable	F tratamiento	p	F bloque	p	CME	CV (%)	R^2	DMS (α = 0.05)
DFM (d)	9.46	< 0.0001	9.64	0.0003	7.68	2.74	0.84	8.7
DFF (d)	7.45	< 0.0001	10.1	0.0002	9.68	3.05	0.81	9.8
ASI (d)	1.68	0.062	0.86	0.4293	2.29	174.71	0.47	—
AP (cm)	6.37	< 0.0001	4.89	0.0117	630.35	9.12	0.7722	79.5
AM (cm)	8.31	< 0.0001	7.39	0.0016	403.82	14.41	0.8169	63.6
AM/AP (%)	12.7	< 0.0001	9.27	0.0004	9.1356	6.09	0.8708	9.5

CME: cuadrado medio del error; CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

En DFF se distinguieron cuatro grupos con traslapes. La comparación de medias de Tukey se aplicó a los 300 pares de tratamientos posibles (resultado de combinar los 25 tratamientos dos a dos), con una sola diferencia mínima significativa de 9.8 d; un par se consideró significativo cuando la diferencia absoluta entre las medias de sus dos tratamientos superó ese valor. De los 300 pares, 52 resultaron significativos y 248 no alcanzaron el umbral. Para ilustrar ambos casos, los dos tratamientos más precoces, T24 (87.6 d) y T14 (90.0 d), difirieron en 2.33d y por tanto no se distinguieron entre sí, mientras que T11 (111.6 d), el más tardío, superó a ambos en 24.0 d y 21.6 d y sí se distinguió. La amplitud entre el tratamiento más precoz y el más tardío fue de 25.0 d en DFM y de 24.0 d en DFF.

Cuadro 3. Medias generales, valores extremos de las medias de tratamiento, número de grupos de la comparación de medias y pares significativos para las seis variables.

Variable	Media general	Medias extremas de tratamiento	Grupos	Pares significativos
DFM	101.21 d	84.33 (T24) – 109.33 (T11)	3	52 de 300
DFF	102.08 d	87.67 (T24) – 111.67 (T11)	4	52 de 300
ASI	0.87 d	−1.33 (T1) – 3.33 (T24)	—	no significativo
AP	275.22 cm	190.64 (T7) – 320.72 (T13)	5	33 de 300
AM	139.43 cm	75.02 (T7) y 75.46 (T14) – 180.91 (T13)	6	58 de 300
AM/AP	49.66%	34.93 (T14) – 56.81 (T3)	7	85 de 300

Intervalo antesis–estigma

El ASI presentó una media general de 0.87 d. No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (F = 1.68; p = 0.0620) ni efecto de bloque (F = 0.86; p = 0.4293). El cuadrado medio del error fue de 2.29 d, con un coeficiente de determinación de 0.47 y un coeficiente de determinación ajustado de 0.18. Las medias de los tratamientos abarcaron de −1.33 d (T1) a

3.33 d (T24), intervalo cuya amplitud no permitiría que ninguna pareja de tratamientos superara la diferencia mínima significativa de 4.795 d.

El CV de esta variable fue de 174.71 %, valor que no debe leerse como indicador de precisión del ensayo: la media se encuentra cerca de cero y los datos se registraron en días enteros, de modo que el cociente entre la raíz del cuadrado medio del error y la media general se amplifica.

Longitud de planta (AP)

La longitud de planta promedió 275.22 cm, con un intervalo de observaciones individuales de 184.07 a 344.85 cm. El efecto de tratamiento fue altamente significativo ($F = 6.37$; $p < 0.0001$), con cuadrado medio del error de 630.35, coeficiente de variación de 9.12 % y coeficiente de determinación de 0.7722. La diferencia mínima significativa fue de 79.5cm.

Las medias de los tratamientos se distribuyeron en cinco grupos con traslapes, con 33 pares significativos de 300. El mayor valor correspondió a T13, con 320.72 cm, y el menor a T7, con 190.64 cm; la amplitud entre ambos extremos fue de 130.08 cm.

Altura de mazorca (AM)

La altura de mazorca promedió 139.43 cm, con un intervalo de observaciones individuales de 67.85 a 212.95 cm. Se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F = 8.31$; $p < 0.0001$), con cuadrado medio del error de 403.82, coeficiente de variación de 14.41 % y coeficiente de determinación de 0.8169; la diferencia mínima significativa fue de 63.6cm.

Se distinguieron seis grupos con traslapes, y 58 de los 300 pares resultaron significativos, el mayor número entre las variables de arquitectura. Los valores altos correspondieron a T13 (180.91 cm) y T3 (177.87 cm), y los bajos a T14 (75.46 cm) y T7 (75.02 cm).

Relación mazorca/planta (AM/AP)

La relación mazorca/planta promedió 49.66 %, con un intervalo de observaciones individuales de 33.02 a 61.75 %, es decir, la mazorca superior se insertó en promedio a la mitad de la longitud de la planta. El efecto de tratamiento fue altamente significativo ($F = 12.70$; $p < 0.0001$) y presentó el mayor coeficiente de determinación de las seis variables (0.8708), con cuadrado medio del error de 9.1356, coeficiente de variación de 6.09 % y diferencia mínima significativa de 9.57087 puntos porcentuales.

Esta variable produjo el mayor número de grupos en la comparación de medias (siete, con traslapes) y el mayor número de pares significativos: 85 de 300. El valor máximo fue T3, con 56.81 %, y el mínimo T14, con 34.93 %.

Supuestos de los modelos

No se detectó apartamiento de la normalidad en los residuales de ninguno de los seis modelos. Los valores de la prueba de Shapiro-Wilk modificada fueron $W^* = 0.97$ ($p = 0.3721$) para DFM, $W^* = 0.96$ ($p = 0.2161$) para DFF, $W^* = 0.96$ ($p = 0.0703$) para ASI, $W^* = 0.97$ ($p = 0.5650$) para AP, $W^* = 0.97$ ($p = 0.4579$) para AM y $W^* = 0.98$ ($p = 0.8629$) para la relación mazorca/planta.

Discusión de Resultados

Floración

Los materiales evaluados abarcaron un intervalo amplio de floración: 25 d entre el más precoz (T24, 84.33 d) y el más tardío (T11, 109.33 d) para DFM, y 24 d para DFF. Una amplitud de esa magnitud, en un mismo sitio y ciclo, indica que la colección reúne materiales de ciclo claramente contrastante.

La comparación con otros trabajos exige cautela por diferencias de ambiente y de materiales. En un ensayo con variedades nativas de ciclo corto en Cintalapa, Chiapas —localidad a 540 m de altitud, muy por debajo de los 1996 m del presente ensayo— (Salinas *et al*., 2024, p. 2), los datos observados de floración masculina variaron de 45 a 62 d después de la siembra y los de floración femenina de 49 a 66 d (Salinas *et al*., 2024, p. 4), valores muy inferiores a los aquí observados. La diferencia no debe interpretarse como un atributo racial de los materiales de Nuevo León, sino como el efecto combinado del ambiente y del conjunto de materiales evaluados; esos materiales de ciclo corto poseen adaptaciones genéticas que les permiten prosperar en las condiciones agroclimáticas específicas de su región (Salinas *et al*., 2024). La precocidad relativa de T24 y T14, en cambio, es un resultado interno del ensayo y no depende de esa comparación externa.

Un contraste más cercano en altitud lo ofrecen los maíces nativos de Atenco, con 98 d a floración masculina en las nativas y 96 d en los híbridos, y longitudes de planta de 278 y 250 cm respectivamente (Lira-Mendoza *et al*., 2025). El promedio de DFM de este ensayo (101.21 d) es del orden del reportado en Atenco para materiales nativos, lo que sugiere que el conjunto evaluado se ubica en el intervalo esperado para maíces nativos de valles altos, sin que ello implique identidad de comportamiento entre colecciones.

Es pertinente señalar que T24, el testigo rojo, fue el material más precoz en ambas variables.

Para el caso de ASI, no se detectaron diferencias entre tratamientos, con medias que abarcaron de −1.33 a 3.33 d alrededor de una media general de 0.87 d. El resultado debe reportarse como ausencia de diferencias detectables y no como uniformidad demostrada: la prueba no permite afirmar equivalencia entre tratamientos, solo que la variación observada no alcanzó a distinguirse del error experimental. La amplitud de las medias es, además, inferior a la diferencia mínima significativa calculada (4.79473 d), lo que explica la ausencia de pares significativos.

Desde el punto de vista agronómico, un ASI cercano a cero es consistente con un ambiente sin limitación hídrica durante la floración, ya que el suministro de agua fue el factor ambiental que más contribuyó a explicar la variabilidad del ASI en un conjunto de poblaciones mediterráneas, al dar cuenta de 53.8 % de la variabilidad ambiental total (Hammami *et al*., 2026). El ensayo se condujo bajo riego, de modo que la condición de sincronía observada es coherente con el manejo aplicado y no debe extrapolarse a condiciones de temporal.

La ausencia de diferencias es también coherente con la estructura del carácter en otros conjuntos de germoplasma: en esas poblaciones mediterráneas la interacción genotipo × ambiente no tuvo efectos significativos sobre el ASI, y los efectos genéticos y ambientales contribuyeron de forma comparable a su variabilidad (Hammami *et al*., 2026).

Arquitectura de planta

La longitud de planta promedio (275.22 cm) se ubica en el intervalo alto de lo reportado para maíces nativos de valles altos: en Atenco las nativas promediaron 278 cm y los híbridos 250 cm (Lira-Mendoza *et al*., 2025), y en poblaciones del Mezquital se registraron 357 y 306 cm (Zurita *et al*., 2026). El intervalo observado en este ensayo (184.07 a 344.85 cm) confirma que la colección incluye materiales de porte contrastante. No obstante, el que las variedades nativas sean en promedio altas no autoriza a concluir que sean superiores: la comparación con el testigo híbrido (T25) se resuelve tratamiento por tratamiento, y la longitud de planta es solo uno de los caracteres que determinan el comportamiento productivo.

El coeficiente de variación de 9.12 % en longitud de planta y de 14.41 % en altura de mazorca son superiores a los reportados en ensayos con híbridos, donde se registraron 4.30 % para longitud de planta y 8.30 % para altura de mazorca (Priyanto *et al*., 2023). La diferencia es esperable: un conjunto de 23 poblaciones nativas es fenotípicamente más heterogéneo que un grupo de híbridos, y esa heterogeneidad se expresa también en el error experimental. Ambos coeficientes se mantienen, sin embargo, dentro de un margen que permite detectar diferencias de magnitud agronómica, como lo muestra el número de pares significativos.

La altura de mazorca presentó seis grupos y el segundo mayor número de pares significativos (58 de 300) entre las variables de arquitectura. Este carácter define el punto de inserción de la mazorca superior y, junto con la longitud de planta, condiciona la aptitud para siembra densa y la resistencia al acame.

Relación mazorca/planta

La relación mazorca/planta fue la variable con mayor coeficiente de determinación (0.8708) y mayor número de pares significativos (85 de 300), con siete grupos. Esto indica que la posición relativa de la mazorca distinguió materiales con mayor eficacia que las alturas absolutas, lo cual es consistente con su naturaleza de variable normalizada: al dividir por la longitud de planta, se descuenta la variación de porte y queda expuesta la diferencia en la distribución vertical de la planta.

El promedio de 49.66 % implica que, en la mayoría de los tratamientos, la mazorca superior se insertó aproximadamente a la mitad de la longitud de la planta. El intervalo de 33.02 a 61.75 % documenta materiales con inserción baja y materiales con inserción alta, diferencia que tiene implicaciones prácticas para el manejo y para el diseño de un ideotipo adaptado a densidades mayores.

Alcances y limitaciones

Los resultados corresponden a un ciclo agrícola, un sitio y una condición de riego,

de modo que describen el comportamiento de los materiales en ese ambiente y no establecen su estabilidad. La ausencia de repetición en el tiempo impide separar el efecto del genotipo del de la interacción con el ambiente. En un conjunto de poblaciones mediterráneas esa interacción no tuvo efectos significativos sobre el ASI (Hammami *et al*., 2026), pero ese resultado no es extrapolable a las variables de arquitectura ni a otros ambientes, por lo que la estabilidad de los materiales aquí evaluados queda como pregunta abierta.

El estudio se limita a la fase de floración y arquitectura. Las determinaciones de rendimiento y de calidad químico-nutricional del grano forman parte del proyecto y se reportarán en etapas posteriores; por lo mismo, en este avance no se establecen conclusiones sobre capacidad productiva ni sobre aptitud nutricional, y las diferencias observadas en caracteres vegetativos y fenológicos no se traducen automáticamente en diferencias de rendimiento.

Los efectos de bloque resultaron significativos en cinco de las seis variables, lo que indica la existencia de un gradiente ambiental dentro del área experimental. El diseño de bloques completos al azar controló ese gradiente, y su significancia respalda la decisión de bloquear; no se atribuye a una causa específica del suelo o del manejo, que no se evaluó con ese propósito.

Conclusiones

Se detectaron diferencias altamente significativas entre los 25 tratamientos en días a floración masculina, días a floración femenina, longitud de planta, altura de mazorca y relación mazorca/planta, con coeficientes de variación de 2.74 a 14.41 % que indican precisión aceptable del ensayo.

La colección incluye materiales de ciclo contrastante: la floración masculina de las medias de tratamiento abarcó de 84.33 d (T24) a 109.33 d (T11), y la femenina de 87.67 d (T24) a 111.67 d (T11), lo que ofrece opciones de ciclo para la ventana de riego de la región.

No se detectaron diferencias entre tratamientos en el intervalo antesis–estigma ($p = 0.0620$), que promedió 0.87 d; el resultado se interpreta como ausencia de diferencias detectables bajo la condición de riego del ensayo, no como uniformidad demostrada.

La relación mazorca/planta fue la variable con mayor capacidad de discriminación (siete grupos; 85 de 300 pares significativos; $R^2 = 0.8708$), con un promedio de 49.66 % y un intervalo de medias de 34.93 a 56.81 %.

La prueba de Shapiro-Wilk modificada no evidenció apartamiento de la normalidad en ninguno de los seis modelos (W^* entre 0.96 y 0.98; $p > 0.05$).

Agradecimientos

Agradezco a SECIHTI por la beca otorgada, la cual hizo posible la realización de este trabajo. Al Dr. Francisco Zavala García, mi asesor principal, por su asesoría, orientación y constante apoyo a lo largo de la maestría. A la Facultad de Agronomía de

la Universidad Autónoma de Nuevo León y, de manera particular, a la Unidad La Ascensión, por las facilidades brindadas para el uso de las instalaciones, el establecimiento y desarrollo del cultivo, así como por el acceso a los materiales utilizados. Al personal de la Unidad, en especial al Ing. Efrén Montaño y a Don Abel Encinia, por su apoyo en las labores de campo. A mis compañeros de maestría, por su respaldo y sus palabras de ánimo. Al Ing. Miguel Ángel Carranza, egresado de la misma, por su valiosa ayuda en la toma de datos.

Referencias Bibliografía

Armendariz-Beltran, R., Lugo-Cruz, E., Ruíz-Hernández, R., Zavala-García, F., & Ramírez-Grimaldo, N. C. (2024). PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DE MAÍCES NATIVOS AZULES BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE POBLACIÓN Y RÉGIMENES HÍDRICOS. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 27(3). https://doi.org/10.56369/tsaes.5645

Beltrán, G. A., pez-SÃ¡nchez, H. L., Santacruz-Varela, A., MuÃ±oz-Orozco, A., Valadez-Moctezuma, E., Gutiérrez-Espinosa, M. A., pez, P. A. L., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., & Taboada-Gaytán, O. R. (2019). Morphological variability of native maize (Zea mays L.) of the west highland of Puebla and east highland of Tlaxcala, Mexico. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). https://doaj.org/article/56f3dd7bfd5344ad9ccfb066a1efff97

Bongianino, N. F., Steffolani, M. E., Morales, C. D., Biasutti, C. A., & León, A. E. (2024). Semi-Arid Environmental Conditions and Agronomic Traits Impact on the Grain Quality of Diverse Maize Genotypes. Plants, 13(17), 2482. https://doi.org/10.3390/plants13172482

Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., Santos, G. G. los, & Vaquera-Huerta, H. (2019). CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES SOBRESALIENTES DE MAÍZ DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO. Revista Fitotecnia Mexicana, 42(3), 269–279. https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.269-279

Carballo Carballo, A., Martínez Valdés, G., Estrada Gómez, J. A., Mejía Andrade, H., Virgen Vargas, J., Espinosa Calderón, A., Padilla Ramírez, R., Castillo González, F., López Herrera, A., Pérez Jerónimo, G., Coronado Hernández, R., Alcázar Andrade, J., Simental Sánchez, F. J., & Ramírez, M. E. (2014). Guía técnica para la descripción varietal de maíz (Zea mays L.).

Descriptors for Maize. (1991). https://doi.org/92-9043-189-1

Eleazar, L.-C., E., M.-O., Leopoldo, Amalio, S.-V., Alejandra, G.-E., Ma., M., H.-C., Juan, Francisco, Z.-G., & A., G.-H., Víctor. (2025). Race diversity in dryland maize (Zea mays L.) landraces from southern Nuevo

León, Mexico. AgEcon Search (University of Minnesota, USA). https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1880

Fei, J., Lu, J., Jiang, Q., Liu, Z., Yao, D., Qu, J., Liu, S., Guan, S., & Ma, Y. (2022). Maize plant architecture trait QTL mapping and candidate gene identification based on multiple environments and double populations. BMC Plant Biology, 22(1), 110. https://doi.org/10.1186/s12870-022-03470-7

Fernandes, M. D. M., Barreira, R. Q., Barbosa, V. S., Cassol, L. C., & Santos, J. V. D. L. (2024). Evaluation of agronomic characters in corn genotypes (Zea mays L.) Safrinha in agricultural area of Amazon in the municipality of Conceição do Araguaia-PA. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, 22(2). https://doi.org/10.55905/oelv22n2-020

García-López, D., Jacinto-Hernández, G., Pérez-Nicolás, M., & Galindo, A. de la R. (2025). Morphological characterization of native maize varieties (Zea mays L.). Agro Productividad. https://doi.org/10.32854/ph0y8c80

Hammami, M. D. E., Malvar, R. A., Balconi, C., Mastrangelo, A. M., Mazzinelli, G., Redaelli, R., Torri, A., Troccoli, A., Kthiri, Z., Madur, D., Galaretto, A., Nicolas, S., Butrón, A., Charcosset, A., Hamada, W., Karmous, C., & Revilla, P. (2026). Genetic and environmental drivers of drought and heat stress adaptation in Mediterranean maize landraces. Journal of Agriculture and Food Research, 31, 103291. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026.103291

Hernández-Salinas, G., Toledano-Toledano, F., Pérez-García, M., Sánchez-Valera, O. V., Ramírez-Rivera, E. D. J., Serna-Lagunes, R., Rocandio-Rodríguez, M., Purroy-Vásquez, R., Fernández-López, C. L., López-Morales, F., & Garduño-Espinosa, J. (2022). Morpho-agronomic evaluation of native maize races associated with Mexican tropical climate agroforestry systems. PLOS ONE, 17(6). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269896

Informe de Resultados de Ensayo. (2026).

Li, X., Zhao, X., Sun, S., Tao, K., & Niu, Y. (2025). Meta-QTL Analysis and Genes Responsible for Plant and Ear Height in Maize (Zea mays L.). Plants, 14(13), 1943. https://doi.org/10.3390/plants14131943

Lira-Mendoza, A. J., Santacruz-Varela, A., García-Zavala, J. J., & Esquivel-Esquivel, G. (2025). AGRONOMIC PERFORMANCE OF NATIVE AND HYBRID MAIZE (Zea mays L.) IN THE MUNICIPALITY OF ATENCO, STATE OF MEXICO. Agrociencia, 1–12. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v59i3.3105

Liu, B., Zhang, B., Yang, Z., Liu, Y., Yang, S., Shi, Y., Jiang, C., & Qin, F. (2021). Manipulating ZmEXPA4

expression ameliorates the drought-induced prolonged anthesis and silking interval in maize. The Plant Cell, 33(6), 2058–2071. https://doi.org/10.1093/plcell/koab083

Lugo-Cruz, E., Ruíz-Hernández, R., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., & Ibarra-Arias, J. M. (2025). DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE MAÍCES NATIVOS DE NUEVO LEÓN, MÉXICO, Y SU RELACIÓN CON VARIABLES AGROCLIMÁTICAS DE SUS LUGARES DE ORIGEN. Revista Fitotecnia Mexicana, 48(4), 349. https://doi.org/10.35196/rfm.2025.4.349

Osnato, M. (2021). Expansin helps maize to keep the right timing: inducible expression of an Expansin gene mitigates drought effects on grain yields. The Plant Cell, 33(6), 1857–1858. https://doi.org/10.1093/plcell/koab088

Özata, E., Alaca, B., Yıldırım, G. H., Aboud, N. M. A., & Altaf, M. T. (2026). Multiyear evaluation of agronomic traits, nutritional quality, macro and microelement profiles of white maize genotypes (Zea mays L.) under Black Sea conditions. Frontiers in Plant Science, 17, 1793293. https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1793293

Padilla, E. J. G., Martínez, J. L., Padilla, E. G., O–Arias, M. A. L., & Guevara–Hernández, F. (2024). Caracterización de maíces locales de la región Frailesca de Chiapas: diversidad morfológica y productiva. Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical, 4(2), 1–16. https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.04

Priyanto, S. B., Efendi, R., & Zainuddin, B. (2023). Genetic variability, heritability, and path analysis for agronomic characters in hybrid maize. Kultivasi, 22(1). https://doi.org/10.24198/kultivasi.v22i1.38807

Rivas, J. G., Gutierrez, A. V., Defacio, R. A., Schimpf, J., Vicario, A. L., Hopp, H. E., Paniego, N. B., & Lia, V. V. (2022). Morphological and genetic diversity of maize landraces along an altitudinal gradient in the Southern Andes. PLoS ONE, 17(12). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271424

Salinas, J. C. C., Guevara–Hernández, F., Vidal, H. A. P., Cadena-Íñiguez, P., Ovando-Salinas, J. E., & Padilla, E. G. (2024). Morphological and agronomic evaluation of short-cycle native maize varieties (Zea mays L.). Agro Productividad. https://doi.org/10.32854/agrop.v17i10.3102

Wang, J., Zhang, Y., Guo, X., Liu, H., Bao, L., Zhou, Y., Li, C., & Di, H. (2026). Genome-Wide Association Study of Plant and Ear Height in Maize (Zea mays L.) and Identification of Candidate Genes. Plants, 15(9), 1383. https://doi.org/10.3390/plants15091383

Zhao, S., Li, X., Song, J., Li, H., Zhao, X., Zhang, P., Li, Z., Tian, Z., Lv, M.,

Deng, C., Ai, T., Chen, G., Zhang, H., Hu, J., Xu, Z., Chen, J., Ding, J., Song, W., & Chang, Y. (2021). Genetic dissection of maize plant architecture using a novel nested association mapping population. The Plant Genome, 15(1). https://doi.org/10.1002/tpg2.20179

Zhuang, L., Wang, C., Hao, H., Song, W., & Guo, X. (2024). Maize Anthesis-Silking Interval Estimation via Image Detection under Field Rail-Based Phenotyping Platform. Agronomy, 14(8), 1723. https://doi.org/10.3390/agronomy14081723

Zurita, D. S., Serna, R. R., & Martínez, P. A. D. (2026). Diversidad morfológica y genética evaluada en colectas de maíz nativo del Mezquital, Durango. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 13. https://doi.org/10.19136/era.a13nvi.5079

Selección masal estratificada bajo estrés térmico en semilla de maíz nativo “ROJO FAUALA”
Toma de datos y selección intrasublote

Silvia Leticia Esquivel-Loera*; Francisco Zavala-García; Eleazar Lugo-Cruz; Adriana Gutiérrez-Díez; Sugey Ramona Sinagawa-García.
Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
*Email: silvia.esquivelr@uanl.edu.mx

Resumen. La selección masal estratificada (SME) es un método de mejoramiento accesible para variedades nativas de maíz, pero su eficacia depende de identificar con precisión a las plantas sobresalientes dentro de cada estrato. Este trabajo presenta los avances del segundo ciclo de SME en el maíz nativo de grano rojo “ROJO FAUALA”, en el ciclo primavera-verano 2026 en la unidad académica la Ascension, en el municipio de Aramberri, Nuevo León, con miras a su liberación y registro como variedad de polinización libre. Se sembró un terreno donde se establecieron 20 sublotes de 200 plantas cada uno, se marcaron 20 plantas candidatas con competencia completa por sublote, a las que se les registraron la época de antesis, la época de aparición de estigmas, el número de ramificaciones primarias, el número de hojas totales y de hojas arriba de la mazorca, la longitud del eje central, la altura de planta y la longitud de mazorca, conforme a la guía del SNICS (2024). Cada variable se ajustó con la fórmula de Molina (1992) para elegir las 5 mejores plantas por sublote (aplicando una presión de selección del 25 %). Debido al alto número de variables medidas se utilizará como ejemplo la variable altura de planta. Las plantas seleccionadas se hicieron considerando el ajuste de Molina y cuyos valores presentaron un rango entre 218.2cm a 276.4 cm. Se espera que las plantas seleccionadas superen la media de la población y muestren mayor uniformidad fenológica.
Palabras clave. registro de variedades, selección masal estratificada, mejoramiento genético, ajuste de Molina, índice de selección

Abstract. Stratified mass selection (SMS) is an accessible breeding method for native maize varieties; however, its effectiveness depends on the accurate identification of outstanding plants within each stratum. This study presents progress from the second cycle of SMS applied to the red-grained native maize variety "ROJO FAUALA" during the 2026 spring-summer growing season at the La Ascensión academic unit in the municipality of Aramberri, Nuevo León, with the goal of releasing and registering it as an open-pollinated variety. A field plot was established containing 20 subplots, each consisting of 200 plants. Within each subplot, 20 candidate plants—all with full, unobstructed growth—were marked. Data were recorded for each, including the timing of anthesis and silk emergence, the number of primary branches, total leaf count and number of leaves above the ear, central axis length, plant height, and ear length, following the guidelines provided by the SNICS (2024). Each variable was adjusted using the formula developed by Molina (1992) to select the 5 best plants per subplot (applying a selection pressure of 25%). Given the large number of variables measured, plant height is used here as an illustrative example. The selected plants were chosen based on the Molina adjustment, with values ranging from 218.2 cm to 276.4 cm. It is expected that these selected plants will perform above the population mean and exhibit greater phenological uniformity.
Keywords: variety registration, stratified mass selection, plant breeding, Molina adjustment, selection index

Introducción

La selección masal es uno de los métodos de mejoramiento más antiguos y sencillos, consiste en elegir fenotípicamente las mejores plantas de una población y mezclar su semilla para formar la siguiente generación. En los maíces nativos mexicanos este proceso ha sido practicado de manera continua por los agricultores (Turrent *et al*., 2024). Existe una variante de esta Selección Masal denominada Selección Masal Estratificada (SME) que se apoya en la propuesta de Gardner (1961), en la cual, se divide el lote en sublotes pequeños y se selecciona dentro de cada uno, con lo que se controla mejor el efecto del ambiente. En variedades nativas de maíz, la Selección masal estratificada ha producido mayores ganancias de selección que la selección individual entre y dentro de familias de medios hermanos (Pereira y Borges, 2024) y, en un programa participativo de largo plazo, mejoró el desempeño agronómico de una de dos poblaciones sin reducir su diversidad molecular (Alves *et al*., 2018).

El resultado de cada ciclo depende de qué tan bien se identifique a las plantas sobresalientes. Aun con estratificación, las diferencias entre sublotes pueden confundirse con diferencias genéticas entre plantas, por lo que Molina (1992) propone corregir el valor fenotípico de cada planta con el promedio de su sublote y el promedio general del experimento, de modo que plantas de distintos sublotes puedan compararse en las mismas condiciones.

Esta identificación exige, además, registrar a las plantas con métodos estandarizados. La guía del SNICS (2024) define los caracteres y los procedimientos para describir variedades nativas de maíz con fines de registro, entre ellos se encuentran: caracteres fenológicos (época de antesis y de aparición de estigmas); de planta (número de ramificaciones primarias de la espiga, número de hojas, numero de hojas totales, longitud del eje central y altura de planta) y de mazorca (longitud, diámetro, numero de hileras y numero de granos por hilera) La misma guía pide presentar el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de cada carácter medido para documentar la homogeneidad de la variedad, por lo que un mismo registro sirve para seleccionar y para caracterizar la población.

En el caso de la fenología, el intervalo entre la antesis y la aparición de estigmas (ASI, por sus siglas en inglés) es un carácter secundario cuyo uso puede aumentar la eficiencia de la selección en condiciones adversas, donde seleccionar solo por rendimiento suele ser poco eficiente (Bolaños y Edmeades, 1996).

Por otra parte, elegir con base en un solo carácter puede dejar de lado otros atributos de la planta. Los índices de selección resuelven este problema al combinar varios caracteres en un solo valor: Smith (1936) propuso una función lineal de los caracteres observables para estimar el valor genético de una planta, y Hazel (1943) desarrolló las bases genéticas para construir índices de selección. Como las variables se miden en unidades distintas (días, centímetros, número de órganos), se estandarizan antes de integrarlas para que todas aporten en la misma escala. Una desventaja en la

formulación de estos índices es el asignar un peso económico a las variables que intervienen en el índice, lo cual es un poco difícil por las variaciones que puede haber entre investigadores y lugares en la asignación de esos pesos económicos (Williams,1962; Pesek y Baker,1969); por lo que resulta más fácil el uso de Índices de Selección Estandarizados, en los cuales se asignan pesos económicos iguales a las variables que intervienen en el índice (Elson,1963; Crosbie *et al*.,1980).

El presente trabajo corresponde al segundo ciclo de SME en el maíz nativo "ROJO FAUALA", a partir de la semilla recombinada del primer ciclo, con miras a su liberación y registro como variedad de polinización libre. Se presentan los avances de campo del ciclo primavera-verano 2026 correspondiente a la selección e identificación de las plantas candidatas, el registro de las variables fenológicas, de planta y de mazorca, y el procedimiento de ajuste de Molina.

Objetivo general.

Caracterizar fenotípicamente las plantas de cada sublote y seleccionar las mejores de acuerdo con la fórmula de Molina en un segundo ciclo de selección masal estratificada del maíz nativo "ROJO FAUALA", con miras a su liberación y registro como variedad de polinización libre.

Objetivos específicos

1) Seleccionar e identificar plantas candidatas en cada sublote y caracterizarlas mediante variables fenológicas, de planta y de mazorca.
2) Aplicar la fórmula de ajuste de Molina a cada variable.

Hipótesis

Los valores fenotípicos originales de las plantas seleccionadas difieren de los valores fenotípicos obtenidos con la fórmula de Molina debido al ajuste por efecto del ambiente.

Materiales y Métodos

1. Ubicación del experimento

La presente investigación se está realizando en las instalaciones de la Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión, perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), ubicada en el municipio de Aramberri, Nuevo León, México con las siguientes coordenadas: latitud de 24° 19' 16.69" N y longitud de 99° 56' 40.94" W, a una altura de 1990 msnmm.

2. Material vegetal.

Se utilizó semilla de maíz (*Zea mays* L.) del material nativo denominado "ROJO FAUALA", proveniente del primer ciclo de selección masal, realizado en el ciclo primavera-verano (PV) 2024. La semilla seleccionada se sembró en PV 2025 para permitir su recombinación, y la cosecha de esa recombinación es la que se utiliza en el presente trabajo.

3. Procedimiento experimental

3.1 Establecimiento y estructuración de sublotes

Para el establecimiento de las plantas en los sublotes primeramente se obtuvieron plántulas producidas en charolas de propagación; se trasplantaron a campo al llegar al estado V3, tal como se observa en la Figura 1, con el suelo ya preparado y los sublotes trazados, bajo riego por cintilla.



Figura 1. Plántulas en estado V3

Las plantas se organizaron en sublotes o estratos, de acuerdo con los principios de la Selección Masal Estratificada, con la finalidad de controlar la variabilidad ambiental dentro del experimento y aumentar la seguridad en la identificación de genotipos, tal como se muestra en la Figura 2.

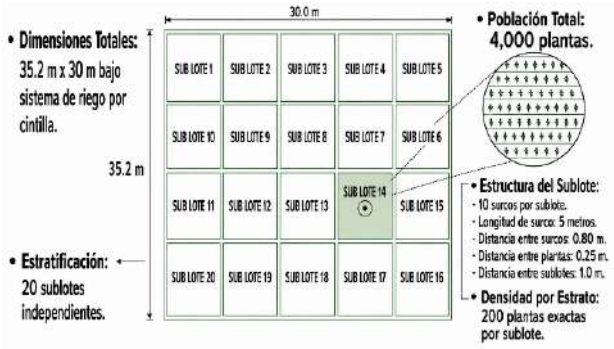


Figura 2. Características del lote de selección.

El lote se trazó en 20 sublotes de 10 surcos de 5 m, con una distancia de 80 cm entre surcos y de 25 cm entre plantas, lo que da 200 plantas por sublote y 4,000 plantas en total. El trasplante se realizó el 24 de abril de 2026.

Durante el ciclo se aplicó agua a través del uso de riego por cintilla y se realizaron las labores culturales y el control fitosanitario necesarios como la fertilización y control de malezas y plagas. En la Figura 3 se observa el suelo con el aporque utilizando un implemento agrícola, mientras que el deshierbe fue manual.



Figura 3. Labores culturales: aporque con implemento agrícola y deshierbe manual.

3.2 Selección e identificación de plantas

La preselección se hizo antes de la floración, eligiendo plantas de desarrollo promedio, es decir, sin considerar a las más ni a las menos sobresalientes. De los 10 surcos de cada sublote solo se tomaron los 8 surcos centrales, que presentan competencia completa, de modo que las 20 plantas requeridas se obtuvieron de ellos.

Así, en cada sublote se marcaron 20 plantas candidatas (10 % de las 200 plantas del sublote), es decir, 400 plantas en total. Una vez obtenidos los valores ajustados a través de la fórmula de Molina de estas plantas candidatas se seleccionaron las 5

mejores (25 % de las candidatas), dando un total de100 plantas.

Cada planta candidata se identificó con un listón de color rojo, atado alrededor del tallo con grapas, identificándose con el número de sublote y planta tal como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Planta candidata identificada con listón de color rojo en el sublote.

En la madurez fisiológica se añadió a la planta una etiqueta de identificación, para que se le diera un seguimiento preciso hasta la cosecha de su mazorca, tal como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Colocación de la etiqueta de identificación en una planta candidata.

3.3 Variables registradas

Las variables se registraron en las 20 plantas candidatas de cada sublote, con los caracteres y procedimientos de la guía para la descripción de variedades nativas de maíz del SNICS (2024). A diferencia de la guía varietal que se asigna un solo dato por variedad, en la presente investigación cada planta se registró de manera individual, debido a que la fórmula para realizar el ajuste de Molina así lo requiere. Las variables medidas durante el ensayo se agruparon en fenológicas (época de antesis y de aparición de estigmas), de planta (ramificaciones primarias, hojas totales, hojas arriba de la mazorca, longitud del eje central de la espiga y altura de planta) y de mazorca (longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera).

Como variable derivada de las fenológicas se calcula el intervalo antesis-estigmas (ASI = días a estigmas − días a antesis), por su utilidad como carácter secundario de selección (Bolaños y Edmeades, 1996). Las demás variables, de grano y de rendimiento se registrarán al concluir la evaluación y se incorporarán en la estructuración de un índice de selección

3.3.1 Variables fenológicas

Época de antesis. Se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en que cada planta presentó anteras visibles en el tercio medio del eje principal de la espiga (SNICS, 2024), como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Espiga con anteras visibles en antesis.

Época de aparición de estigmas. Se registró el número de días desde la siembra hasta que los estigmas alcanzaron 1 cm de longitud en el jilote (SNICS, 2024), como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Aparición de estigmas en el jilote

3.3.2 Variables de planta

Número de ramificaciones primarias. Se contaron las ramas que nacen del eje principal de la espiga, observación que puede hacerse desde la antesis hasta el estado de grano lechoso (SNICS, 2024), la toma de este dato se realizó en etapa de floración, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Ramificaciones primarias de la espiga.

Número de hojas totales. Se consideraron todas las hojas producidas desde la emergencia hasta la floración. Como referencia se marcó la quinta hoja con esmalte blanco y contabilizar el total de hojas por la posibilidad de perder las hojas inferiores, antes de la floración (Figura 9; SNICS, 2024).

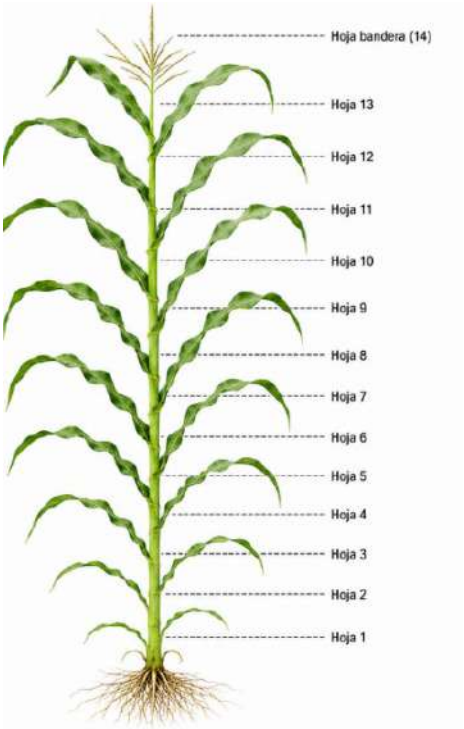


Figura 9. Esquema de la numeración de las hojas totales de la planta.

Número de hojas arriba de la mazorca. Este dato se midió en etapa de floración, para ello se contaron las hojas ubicadas por arriba de la mazorca principal, incluyendo la hoja de la mazorca tal como se señala con la flecha en la Figura 10. (SNICS, 2024).

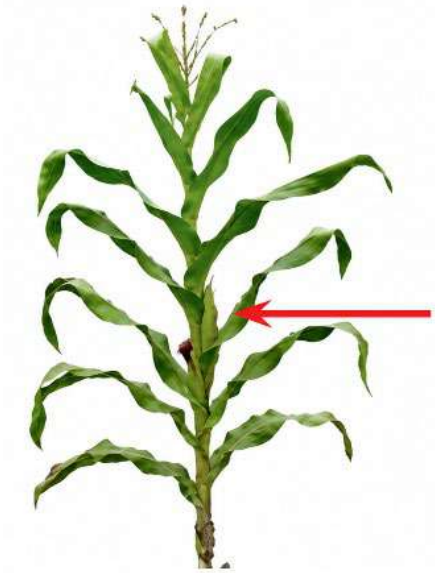


Figura 9. Hoja de la mazorca principal como referencia para contar las hojas arriba de la mazorca.

Longitud del eje central. Con ayuda de un estadal se midió en centímetros el eje central desde la ramificación lateral más alta hasta el ápice de la espiga, tal como se observa en la Figura 11 (SNICS, 2024).

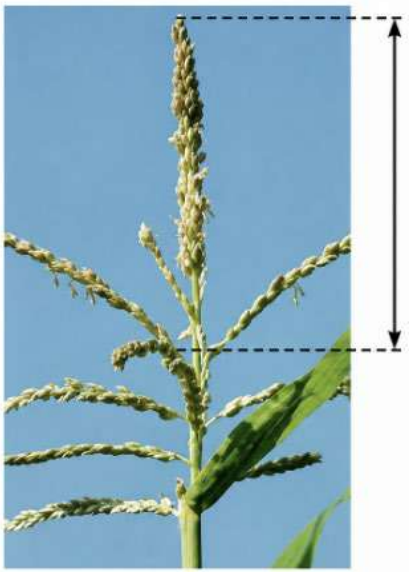


Figura 10. Longitud del eje central de la espiga.

Altura de planta. Se midió en cm con el apoyo de un estadal, medida desde la superficie del suelo hasta el ápice de la espiga (SNICS, 2024). La toma de este dato se realizó en etapa de grano lechoso y se registró en la hoja de campo como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Medición de la altura de planta con estadal.

3.3.3 Variables de mazorca

La cosecha se realizó cuando la planta estaba completamente seca, con aproximadamente un 14.6% de humedad siguiendo el orden de numeración de los sublotes. Las mazorcas de cada sublote se guardaron en bolsas de papel identificadas con el número de sublote.

Longitud de mazorca. Se determinó con vernier digital en centímetros, medida desde la base hasta el ápice de la mazorca principal de cada planta, como se observa en la Figura 13. La medición de este dato se realizó en la etapa de grano maduro y se registró en el libro de campo (SNICS, 2024).



Figura 13. Medición de longitud de mazorca con vernier digital.

Diámetro de mazorca. Se determinó mediante un vernier digital, en centímetros, tomando la distancia transversal de la parte central de la mazorca principal de cada planta, este dato fue tomado en la etapa de grano maduro (SNICS, 2024), y se registraron los datos en el libro de campo, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Medición del diámetro de mazorca con vernier digital.

3.4 Ajuste con la fórmula de Molina

Para comparar plantas de distintos sublotes, cada variable se ajustó con la fórmula de Molina (1992), que corrige el valor fenotípico de cada planta con base en el promedio del sublote al que pertenece y en el promedio general del experimento. De este modo se reduce el efecto de la variabilidad ambiental entre estratos y se permite una comparación objetiva entre individuos, antes de seleccionar las plantas superiores La fórmula se aplicó de manera independiente a cada variable y se expresa de la siguiente manera:

$$Y = XG + (Pp - Xp)$$

Donde:

Y = Valor ajustado de cada planta.

XG= Promedio general (de toda la parcela/población)

Pp = Valor individual de la planta (fenotipo)

Xp = promedio del sublote/ estrato al que pertenece esa planta.

El ajuste produce, para cada planta candidata, un valor ajustado por variable; estos valores serán la base para la estandarización y la construcción de los índices de selección.

3.7 Análisis de datos

Para evaluar el efecto de la selección se calculará, para cada variable el diferencial de selección calculado como S = media de las plantas seleccionadas − media de la población; (Falconer y Mackay, 1996).

La uniformidad se evaluará comparando el coeficiente de variación de las plantas seleccionadas con el de la población. Para la siguiente siembra se mezclará la misma cantidad de semilla de cada mazorca seleccionada.

Resultados y Discusión

Al momento de la entrega del resumen se habían registrado las variables descritas anteriormente.

A la fecha se registraron las variables descritas, pero solo se aplicó el ajuste de la fórmula de Molina a las siguientes variables: época de antesis, época de aparición de estigmas, numero de ramificaciones primarias, numero de hojas totales en floración, numero de hojas arriba de la mazorca, longitud del eje central y altura de planta. Debido al extenso número de cálculos realizados y con el fin de ajustar a los espacios del resumen se utilizó como ejemplo para la aplicación de la formula de molina únicamente para la variable altura de planta, tal como se presenta en el Cuadro 2.

En este cuadro 2 se muestran las plantas seleccionadas de cada sublote, así como el dato original y el dato ajustado por la fórmula de Molina utilizando este como criterio de selección. Utilizando las 100 plantas de los 20 sublotes, se estructurará un compuesto balanceado para permitir la recombinación de los mejores individuos.

Para esta variable de altura de planta, de acuerdo a los valores ajustados se observa un rango entre 218.24 a 276.39 cm que difieren del rango de los valores originales que estuvo entre los 210.00 a 284.00 cm.

Como continuación del trabajo se comparará la fórmula de molina utilizando el valor del rendimiento de grano, con 3 índices de selección utilizando la metodología en la construcción del “índice de selección estandarizado”. Estos índices se estructurarán de acuerdo con las siguientes variables:

IE1=uso de variables fenológicas,
IE2=variables de planta,
IE3 = variables de mazorca.
IE=índice estandarizado

Los resultados se presentarán para el siguiente seminario y que forman parte integral de mi trabajo de investigación y escrito de tesis para mi programa de maestría en ciencias en producción agrícola.

Cuadro 2. Cinco plantas superiores con su dato real y dato ajustado (después de aplicar la fórmula de Molina (1992).) utilizando la variable altura de planta.

Ajuste de Molina(1992) Variable: Altura de planta-Rojo Fauala- SME

Sublote 1		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P15	238	243.24
P18	235	240.24
P6	226	231.24
P10	219	224.24
P16	213	218.24

Sublote 2		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P16	224	235.49
P12	221	232.49
P19	216	227.49
P14	214	225.49
P18	214	225.49

Sublote 3		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P6	235	241.39
P7	234	240.39
P3	231	237.39
P8	225	231.39
P17	222	228.39

Sublote 4		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P3	243	242.77
P13	237	236.77
P2	230	229.77
P20	229	228.77
P14	222	221.77

Sublote 5		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P8	243	233.66
P2	242	232.66
P5	242	232.66
P4	235	225.66
P13	235	225.66

Sublote 6		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P4	245	239.15
P6	233	227.15
P11	232	226.15
P8	230	224.15
P12	230	224.15

Sublote 7		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P6	257	238.20
P17	250	231.20
P2	244	225.20
P8	238	219.20
P15	238	219.20

Sublote 8		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P20	256	247.52
P2	240	231.52
P4	240	231.52
P5	238	229.52
P13	235	226.52

Sublote 9		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P19	234	244.99
P6	231	241.99
P18	231	241.99
P4	218	228.99
P20	210	220.99

Sublote 10		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P7	242	241.94
P5	240	239.94
P1	235	234.94
P2	229	228.94
P8	225	224.94

Sublote 11		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P15	245	246.39
P11	238	239.39
P5	234	235.39
P3	227	228.39
P4	224	225.39

Sublote 12		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P14	245	249.52
P16	242	246.52
P8	233	237.52
P20	225	229.52
P13	224	228.52

Sublote 13		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P9	279	262.93
P5	263	246.93
P6	254	237.93
P10	237	220.93
P4	235	218.93

Sublote 14		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P3	259	251.32
P5	241	233.32
P8	238	230.32
P1	233	225.32
P9	232	224.32

Sublote 15		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P5	248	244.55
P13	247	243.55
P7	242	238.55
P3	229	225.55
P20	228	224.55

Sublote 16		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P12	255	253.29
P11	245	243.29
P6	241	239.29
P1	232	230.29
P7	230	228.29

Sublote 17		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P15	284	276.39
P19	250	242.39
P13	239	231.39
P4	238	230.39
P3	236	228.39

Sublote 18		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P1	227	236.36
P14	225	234.36
P15	224	233.36
P19	216	225.36
P10	212	221.36

Sublote 19		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P7	226	235.74
P2	223	232.74
P9	222	231.74
P13	218	227.74
P11	214	223.74

Sublote 20		
Planta	Dato original (cm)	Dato ajustado (cm)
P7	241	249.64
P15	235	243.64
P14	225	233.64
P5	220	228.64
P20	213	221.64

Leyenda (aplica por separado a "Dato original" y "Dato ajustado")

Máximo general de la tabla

Mínimo general de la tabla

Referencias Bibliográficas

Alves, M. L., Belo, M., Carbas, B., Brites, C., Paulo, M., Mendes-Moreira, P., Brites, C., Bronze, M. R., Šatović, Z., y Vaz Patto, M. C. (2018). Long-term on-farm participatory maize breeding by stratified mass selection retains molecular diversity while improving agronomic performance. *Evolutionary Applications, 11*(2), 254–270. https://doi.org/10.1111/eva.12549

Bolaños, J., y Edmeades, G. O. (1996). The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research, 48*(1), 65–80. https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00036-6

Crosbie, T. M., Mock, J. J. y Smith, O. S. Comparison of gains predicted by several selection methods for cold tolerance traits of two maize populations. Crop Science (1980, páginas 649-655,)

Elston, R. C. (1963). *A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time*. Biometrics, 19(1), 85-97. https://doi.org/10.2307/2527573.

Falconer, D. S., y Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4.ª ed.). Longman.

Gardner, C. O. (1961). An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. *Crop Science, 1*(4), 241–245.

Hazel, L. N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics, 28*(6), 476–490. https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476

Molina Galán, J. D. (1992). *Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia)*. AGT Editor.

Pereira, J. A. S., y Borges dos Santos, V. (2024). Stratified mass selection, individual selection between and within, and genetic gains in native maize varieties. *Revista Ceres, 71*, e71056. https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710056

Pesek, J. y Baker, R. J. (1969). *Desired improvement in relation to selection indices*. Canadian Journal of Plant Science, 49, 803-804

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS]. (2024). *Guía para la descripción de variedades nativas: Maíz (Zea mays L.)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/891830/Gui_a_Mai_z_Nativo-2024_FINAL.pdf

Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics, 7*(3), 240–250. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x

Turrent Fernández, A., Tadeo Robledo, M., y Espinosa Calderón, A. (2024, abril). *Mejoramiento genético autóctono de maíces nativos, amenaza de transgénicos y semillas para suficiencia alimentaria.* Pie de Página. https://piedepagina.mx/mejoramiento-genetico-autoctono-de-maices-nativos-amenaza-de-transgenicos-y-semillas-para-suficiencia-alimentaria/

Williams, J. S. (1962). *The evaluation of a selection index*. Biometrics, 18(3), 375-393.

Inducción de tejido celular de cuatro razas nativas de maíz (*Zea mays* L.) mexicano

Edgar Eliu Parra-Castillo[1*]; Ma del Carmen Ojeda-Zacarías[1]; Gilberto Rodríguez-Perez[2]; Emilio Olivares-Sáenz[1]; Alejandro Ibarra-López[1].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
[2]Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Tecnológico Nacional de México. Bácum, Sonora, C.P. 85276 (A.P. 197 en Cd. Obregón, Sonora). Tel. (644) 461 3182.
*Email: edgar.parraca@uanl.edu.mx

Resumen. El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial por su relevancia alimentaria, económica y cultural. En México, los maíces nativos representan un recurso genético importante para la conservación y el mejoramiento agrícola. El objetivo de esta fase fue la inducción de tejido celular a partir de tres explantes de los cuatro materiales de maíz nativo mexicano (Onaveño, Blando, Mayobichi y Azul), utilizando distintas concentraciones de reguladores de crecimiento. Se emplearon explantes de hoja, tallo y raíz obtenidos de plántulas crecidas *in vitro*, cultivados en medios N6 suplementados con cuatro concentraciones de 2,4-D, más 0.3 mg L^{-1} de BAP. Los explantes permanecieron en oscuridad bajo una factorial 4 x 3 x 4 +1 con 5 repeticiones por tratamiento. durante tres semanas en condiciones controladas La variable evaluada fue: número de explantes con tejido celular de las cuatro razas. Los resultados obtenidos en el análisis estadístico mostraron diferencias significativas entre las concentraciones de 2,4-D, destacando 2 y 4 mg L^{-1}, con porcentajes de inducción del 35% y 27.5%, respectivamente con los explantes de tallo y raíz. El medio de cultivo y dos balances hormonales del 2,4-D permitieron la inducción de tejido celular en dos explantes utilizados.
Palabras clave. Ácido 2,4-diclorofenoxiacético, Bencilaminopurina, Maíz nativo y Medio de cultivo N6.

Abstract. Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops worldwide due to its nutritional, economic, and cultural significance. In Mexico, native maize landraces represent an important genetic resource for conservation and agricultural improvement. The objective of this phase was to induce cellular tissue formation from three types of explants obtained from four Mexican native maize landraces (Onaveño, Blando, Mayobichi, and Azul), using different concentrations of plant growth regulators. Leaf, stem, and root explants obtained from in vitro-grown seedlings were cultured on N6 medium supplemented with four concentrations of 2,4-D and 0.3 mg L^{-1} BAP. The explants were maintained in darkness under controlled conditions for three weeks, following a 4 × 3 × 4 + 1 factorial experimental design with five replicates per treatment. The evaluated variable was the number of explants exhibiting cellular tissue formation among the four maize landraces. Statistical analysis revealed significant differences among 2,4-D concentrations, with 2 and 4 mg L^{-1} showing induction percentages of 35% and 27.5%, respectively, in stem and root explants. The culture medium and two hormonal treatments involving 2,4-D enabled cellular tissue induction in two of the explant types evaluated.
Keywords: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, benzylaminopurine, native maize and N6 culture medium.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial por su valor alimentario, económico y cultural. Pertenece a la familia Poaceae o gramíneas y al género Zea, siendo la única especie cultivada de este género (Paliwal *et al*., 2001). Es una planta herbácea anual que presenta un tallo erecto compuesto por nudos, de los cuales se desarrollan las hojas. Su fruto es conocido como cariópside, característico de las gramíneas, y está constituido principalmente por el pericarpio, endospermo y embrión (Ávila *et al*., 2014).

En México, el maíz representa uno de los principales cultivos para la alimentación de millones de personas, así como también una fuente de materia prima para diferentes sectores económicos (SADER, 2022). México es considerado el centro de origen y domesticación del maíz, donde se han identificado alrededor de 64 razas, de las cuales 59 se consideran nativas, agrupadas en siete grupos raciales: cónicos, de maduración tardía, sierra de Chihuahua, ocho hileras, tropicales precoces, dentados tropicales y chapalote (SADER, 2023). Estas razas presentan diferentes características morfológicas, fisiológicas y genéticas, las cuales les han permitido adaptarse a distintas condiciones ambientales.

La importancia de preservar las razas nativas de maíz se debe principalmente a la diversidad genética que presentan, debido a que constituyen una fuente de características que pueden ser utilizadas en programas de mejoramiento genético, como la tolerancia a condiciones ambientales adversas y enfermedades. Asimismo, la conservación de estos materiales permite mantener la variabilidad genética desarrollada durante generaciones por los agricultores, evitando la pérdida de características importantes para la seguridad alimentaria y la producción agrícola.

En la presente investigación se trabaja con cuatro materiales de maíces nativos mexicanos procedentes del estado de Sonora: Azul, Blando, Onaveño y Mayobichi. El maíz Azul procede de Sonora, mientras que el Blando proviene del municipio de Álamos, ubicado al sur del estado. Por otra parte, el Onaveño procede del municipio de Sahuaripa y el Mayobichi del municipio de Bácum. Estos materiales forman parte de la diversidad genética de los maíces mexicanos, por lo que resulta importante estudiar su comportamiento bajo condiciones de cultivo *in vitro*.

Estas técnicas permiten estudiar la respuesta morfogénica de diferentes genotipos, así como desarrollar estrategias para la conservación de germoplasma y regeneración de material vegetal (Calva y Pérez, 2005; Lidder *et al*., 2012).

Una de las etapas importantes del cultivo *in vitro* es la inducción de tejido vegetal, en la cual se busca estimular la proliferación celular a partir de diferentes explantes mediante el uso de reguladores de crecimiento, principalmente auxinas como el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), que favorece la formación de tejido indiferenciado. La respuesta puede variar dependiendo del genotipo, tipo de explante

y composición del medio de cultivo (Viñas y Jiménez, 2011). Por lo tanto, en la presente investigación se busca evaluar la inducción de tejido vegetal a partir de explantes de tallo, raíz y hoja de cuatro materiales de maíces nativos mexicanos, con la finalidad de identificar su respuesta morfogénica y contribuir al desarrollo de protocolos de cultivo *in vitro* que puedan ser utilizados en futuras estrategias de conservación de germoplasma.

Materiales y Métodos

Ubicación del experimento

La presente investigación se desarrolla durante el periodo comprendido de agosto de 2025 a junio de 2027, en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Campus de Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, México.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays* L.) pertenecientes a cuatro materiales nativos mexicanos: Onaveño, Azul, Mayobichi y Blando, procedentes del estado de Sonora (Fig 1.) El material vegetal fue proporcionado por el Tecnológico Nacional de México, campus Valle del Yaqui, Sonora. Las semillas fueron utilizadas para su establecimiento *in vitro* y posterior obtención de explantes de tallo, raíz y hoja, con la finalidad de evaluar su respuesta durante la inducción de tejido vegetal.

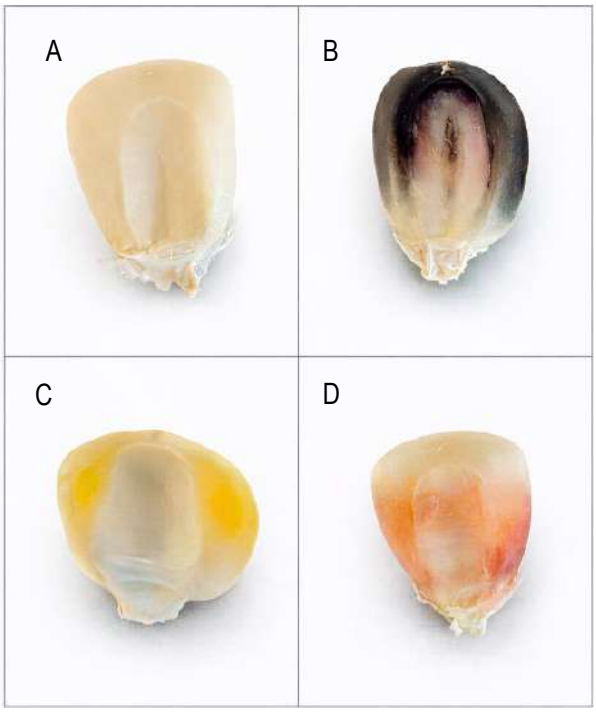


Fig.1. Semillas utilizadas: A) Mayobichi, B) Azul, C) Onaveño y D) Blando.

Siembra para la inducción de tejido vegetal en diferentes explantes

Para esta etapa experimental se utilizaron explantes de hoja, tallo y raiz obtenidos de plántulas de los cuatro materiales de maíz nativo establecidos *in vitro*. Los explantes fueron sembrados en medio de cultivo N6 (Chu 1975) suplementado con cuatro concentraciones de 2,4-D (1, 2, 3 y 4 mg L^{-1}), en combinación con una concentración constante de 0.3 mg L^{-1} de 6-bencilaminopurina (BAP) y suplementado con 30 g L^{-1} sacarosa y 4.4 g L^{-1} de Phytagel como agente solidificante, el pH del medio se ajustó a 5.7 ± 0.02 utilizando NaOH o HCl. El medio de cultivo fue dosificado en frascos con 20 ml por recipiente, previamente esterilizados en autoclave a 121 °C y 15 lb de presión durante 15 minutos y un testigo.

Concluida la siembra las unidades experimentales fueron incubadas al azar en

un cuarto de crecimiento con una temperatura de 24 ± 2 °C en completa oscuridad, durante tres semanas.

La finalidad de esta etapa fue evaluar la respuesta morfogénica de los diferentes explantes ante las concentraciones de reguladores de crecimiento utilizadas, para identificar diferencias en la inducción de tejido vegetal entre los materiales de maíz nativo, tipos de explantes y tratamientos evaluados.

Diseño estadístico

Para la etapa experimental se utilizó un arreglo factorial de 4 × 3 × 4 + 1 con un diseño completamente al azar, considerando como factores los cuatro materiales de maíz nativo, tres tipos de explantes y cuatro concentraciones de 2,4-D (1, 2, 3 y 4 mg L^{-1}), en combinación con 0.3 mg L^{-1} de BAP y un testigo.

Para las variables cuantitativas que cumplan los supuestos estadísticos se realizará un análisis de varianza (ANOVA) factorial. Posteriormente, cuando se detecten diferencias significativas ($p < 0.05$), se aplicará la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar diferencias entre las medias de los tratamientos. Todos los análisis se realizarán con un nivel de significancia de 0.05.

Resultados y Discusión

Inducción de tejido vegetal

El material vegetal viable (Fig 2.) de las cuatro razas de maíz nativo mexicano (Onaveño, Blando, Mayobichi y Azul) se utilizó para evaluar la inducción de tejido vegetal bajo condiciones *in vitro*. Para ello, se emplearon explantes, los cuales fueron establecidos en medios de cultivo suplementados con diferentes concentraciones de 2,4-D (0, 1, 2, 3 y 4 mg L^{-1}) y BAP con una concentración de 0.3 mg L^{-1} y se mantuvieron en condiciones de oscuridad durante tres semanas.

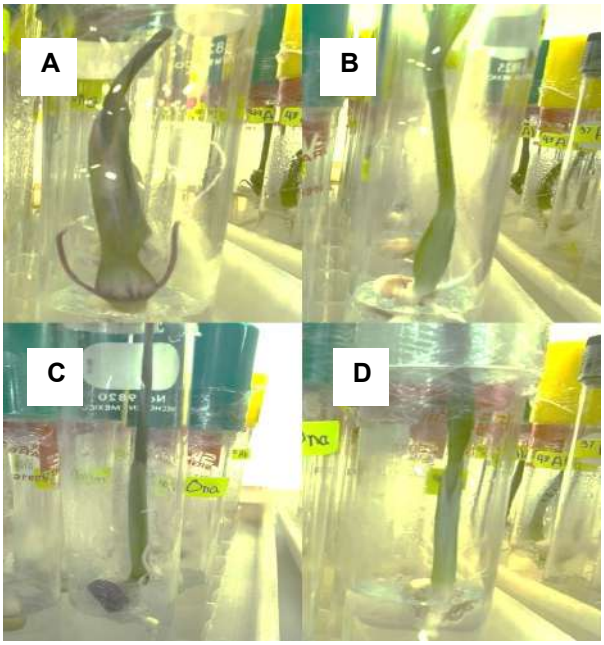


Fig2. Material vegetal de cuatro razas de maíz nativo mexicano establecido *in vitro* y utilizado para la obtención de explantes destinados a la inducción de tejido celular.: A) Blando, B) Onaveño, C) Azul y D) Mayobichi.

Durante este periodo se evaluó la respuesta morfogénica de los explantes, observándose formación de tejido celular en determinados tratamientos, así como modificaciones en el crecimiento y desarrollo de los tejidos vegetales. En las unidades experimentales establecidas, 37 presentaron formación de callo, equivalente al 12.3% del total. Los explantes de tallo presentaron un 19% de inducción de tejido calloso, mientras que los explantes de raíz alcanzaron un 18% (Fig 3.). Por otra parte, los explantes de hoja no presentaron formación de callo durante las tres semanas de evaluación Fig4.

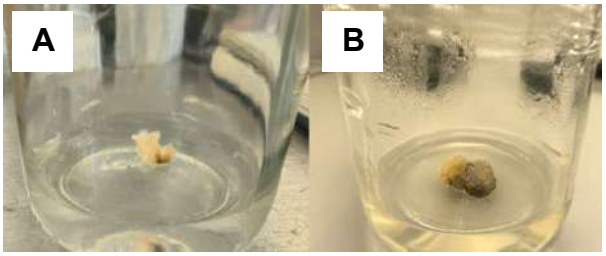


Fig3. Respuesta morfogénica de explantes de raíz y tallo de maíces nativos mexicanos después de tres semanas de cultivo *in vitro*. A) raíz y B) Tallo.

La respuesta observada en los diferentes explantes puede estar relacionada con el origen del tejido vegetal, su estado fisiológico y la sensibilidad a los reguladores de crecimiento utilizados. Wang *et al*. (2021) evaluaron la inducción de tejido celular a partir de ápices radicales obtenidos de plántulas de maíz de tres días de edad, cultivadas en condiciones de oscuridad, alcanzando un 97.2% de inducción de tejido celular primario, mientras que en embriones inmaduros obtuvieron un 98.8%. Estos resultados muestran que los tejidos radicales pueden utilizarse como una alternativa para la inducción de tejido celular en maíz.

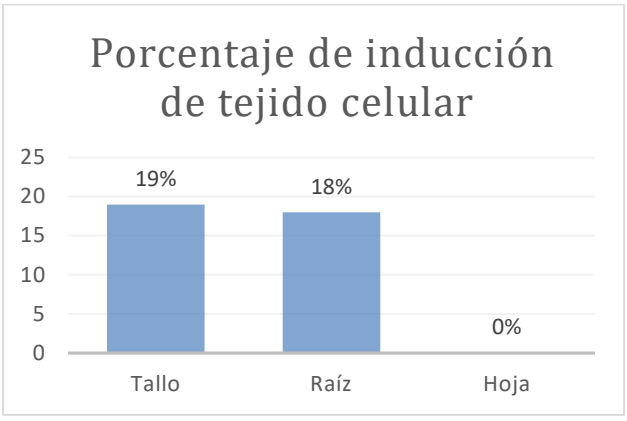


Fig4. Porcentaje de inducción de tejido celular en explantes de tallo, raíz y hoja de cuatro materiales de maíz nativo mexicano después de tres semanas de cultivo *in vitro*.

En la presente investigación se utilizaron raíces de los maíces nativos. Esta característica se podría explicar ya que Wang *et al*. (2021), logro inducir tejido celular utilizando ápices radicales de plántulas jóvenes. Asimismo, el porcentaje de inducción obtenido puede estar relacionado con las características genéticas de los materiales evaluados y las condiciones del medio de cultivo.

Por otra parte, en los explantes de tallo se observaron modificaciones morfológicas, principalmente elongación en algunos tratamientos, sin que necesariamente se presentara formación de tejido celular. Esta respuesta podría estar relacionada con la sensibilidad de los tejidos al 2,4-D, debido a que la presencia de esta auxina no siempre favorece la proliferación de tejido indiferenciado. Huang y Wei (2004) señalaron la importancia de la concentración de 2,4-D y las condiciones de cultivo en la formación y desarrollo del tejido celular, lo que permite considerar que la respuesta morfogénica puede variar dependiendo de las condiciones utilizadas.

En cuanto a los explantes foliares, no se observó formación de tejido calloso durante el periodo de evaluación. Esta ausencia de respuesta podría relacionarse con el estado de diferenciación de las células foliares, así como con su capacidad para responder a las concentraciones de reguladores de crecimiento empleadas. Sin embargo, no se descarta que modificaciones en las condiciones de cultivo o en la región del explante utilizada puedan favorecer una respuesta diferente.

Debido a que los explantes de hoja no presentaron formación de tejido celular, se realizó un análisis estadístico secundario considerando únicamente los explantes de

tallo y raíz. Para ello, se utilizó un modelo lineal generalizado con distribución binomial y considerando los efectos principales de raza de maíz, tipo de explante y concentración de hormonas.

Los resultados del análisis estadístico no mostraron diferencias significativas entre las razas de maíz evaluadas ($\chi^2 = 3.877$; gl = 3; p = 0.275), ni entre los tipos de explantes de tallo y raíz ($\chi^2 = 0.037$; gl = 1; p = 0.847). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de 2,4-D utilizadas ($\chi^2 = 17.331$; gl = 4; p = 0.002), lo que indica que la concentración de hormonas estuvo asociada con la formación de tejido celular.

La concentración de 2 mg L^{-1} de 2,4-D presentó el mayor porcentaje de inducción de tejido celular (35%), seguida de la concentración de 4 mg L^{-1} (27.5%). Mediante las comparaciones se identificaron diferencias significativas entre el tratamiento testigo y las concentraciones de 2 mg L^{-1} (p = 0.003) y 4 mg L^{-1} (p = 0.044), así como entre las concentraciones de 2 y 3 mg L^{-1} (p = 0.048).

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de 2 y 4 mg L^{-1} (p = 1.000), a pesar de que la primera presentó un mayor porcentaje de formación de callo. Estos resultados sugieren que ambas concentraciones pueden favorecer la inducción de tejido vegetal en los explantes evaluados, aunque la concentración de 2 mg L^{-1} presentó la mayor respuesta numérica. Fig5.

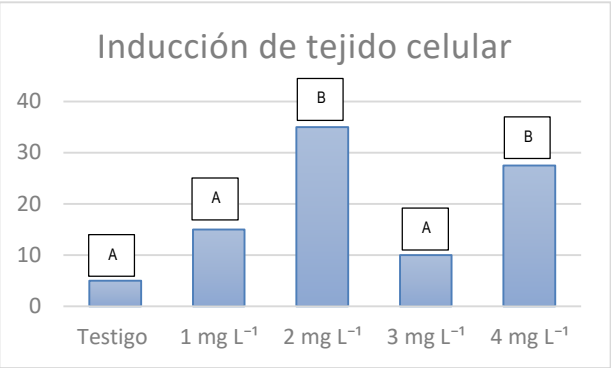


Fig5. Porcentaje de inducción de tejido celular en los diferentes tratamientos hormonales. Con diferentes letras existen diferencia significativa.

Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Hernández-García *et al*. (2007), quienes evaluaron la inducción de callos embriogénicos en líneas de maíz blanco subtropical utilizando concentraciones de 1, 2 y 5 mg L^{-1} de 2,4-D. Los autores observaron que la concentración de 5 mg L^{-1} presentó menores porcentajes de inducción que las concentraciones de 1 y 2 mg L^{-1}. En la presente investigación, la concentración de 2 mg L^{-1} también presentó el mayor porcentaje de formación de tejido celular (35%). Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de 2 y 4 mg L^{-1}, estos resultados sugieren que 2 mg L^{-1} de 2,4-D constituye una alternativa favorable para la inducción de tejido calloso en los materiales evaluados.

La importancia de la concentración de 2,4-D en la inducción de tejido vegetal también ha sido señalada en investigaciones anteriores. Huang y Wei (2004) estudiaron la influencia de los reguladores de crecimiento y las condiciones de cultivo sobre la respuesta en la inducción de tejido celular del maíz. En este sentido, los resultados obtenidos en la presente

investigación muestran que las concentraciones de 2,4-D pueden influir en la formación de tejido celular, aunque la respuesta no fue uniforme en todos los explantes.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que fue posible inducir tejido celular a partir de explantes de tallo y raíz de maíces nativos mexicanos bajo condiciones in vitro. La concentración de 2,4-D fue el factor que presentó un efecto estadísticamente significativo sobre la inducción de tejido vegetal. No obstante, debido a que el análisis estadístico consideró únicamente los efectos principales, no es posible determinar si existen interacciones significativas entre la raza de maíz, el tipo de explante y la concentración hormonal utilizada.

Conclusiones

Se logró la inducción de tejido vegetal a partir de explantes de maíces nativos mexicanos (Z*ea mays* L.), mediante el uso del medio de cultivo N6 suplementado con reguladores de crecimiento como 2,4-D y BAP. Las condiciones de cultivo empleadas permitieron favorecer la formación de tejido celular, demostrando la viabilidad de esta metodología para la inducción de tejido vegetal *in vitro*. Asimismo, el tejido obtenido constituye una base para continuar con las siguientes etapas de la investigación, orientadas a evaluar su desarrollo y respuesta bajo diferentes condiciones de cultivo.

Agradecimientos

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de manutención otorgada para la realización de mis estudios de posgrado; asimismo, a la Dra. Ma. del Carmen Ojeda Zacarías por aceptarme en su línea de investigación y brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo.

De igual manera, agradezco al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por facilitar el uso de sus instalaciones, reactivos, insumos y equipos necesarios para el desarrollo de la investigación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento al Dr. Gilberto Rodríguez Pérez y al Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM), por proporcionar el material vegetal utilizado en esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Calva Calva, G., & Pérez Vargas, J. (2005, 10 de noviembre). Cultivo de células y tejidos vegetales: fuente de alimentos para el futuro. Revista Digital Universitaria, 6(11). Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.6/num11/art104a/art104a.htm

Chu, C. C., Wang, C. C., Sun, C. S., Hsu, C., Yin, K. C., Chu, C. Y., & Bi, F. Y. (1975). Establishment of an efficient medium for anther culture of rice through comparative experiments

on the nitrogen sources. Scientia Sinica, 18(5), 659–668. https://doi.org/10.1360/YA1975-18-5-659

Hasan, K. A., Soliman, H. M., Ghoneem, K. M., *et al*. (2026). Diversity, climatic correlations, and biocontrol prospects of seed-borne fungal endophytes in Egyptian maize. *Scientific Reports, 16*, 10371. https://doi.org/10.1038/s41598-026-41567-3

Hernández-García, C. M., López-Peralta, C., Buenrostro-Nava, M. T., Cárdenas-Soriano, E., & Pellegrineschi, A. (2007). Regeneración de maíces blancos subtropicales vía embriogénesis somática. Agrociencia, 41(7), 743–753. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952007000700743&script=sci_arttext

Hong, J. K., Baek, J., Park, S. R., Lee, G. S., & Suh, E. J. (2023). A new protocol to mitigate damage to germination caused by black layers in maize (*Zea mays* L.) seeds. *Agriculture, 13*(11), 2147. https://doi.org/10.3390/agriculture13112147

Huang, X. Q., & Wei, Z. M. (2004). High-frequency plant regeneration through callus initiation from mature embryos of maize (Zea mays L.). Plant Cell Reports, 22(11), 793–800. https://doi.org/10.1007/s00299-003-0748-9

Lidder, P., & Sonnino, A. 2012. Biotechnologies for the management of genetic resources for food and agriculture. En S. F. Goodwin, T. Friedmann, & J. C. Dunlap (Eds.), Advances in Genetics (Vol. 78, pp. 1–167). Elsevier.

Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., & Violic, A. D. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s00.htm

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). Maíz, cultivo de México. Gobierno de México. https://www.gob.mx

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). Razas de maíz, riqueza del campo mexicano. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/articulos/razas-de-maiz-riqueza-del-campo-mexicano?idiom=es

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SADER). (2022). Balanza disponible de consumo de maíz blanco. México, D.F.: SADER.

Viñas, M., & Jiménez, V. M. (2011). Factores que influyen en la embriogénesis somática in vitro de palmas (Arecaceae). Revista Colombiana de Biotecnología, 13(2), 229–242.

Wang, C., Ma, H., Zhu, W., Zhang, J., Zhao, X., & Li, X. (2021). Seedling-derived leaf and root tip as alternative explants for callus induction and plant regeneration in maize.

Physiologia Plantarum, 172(3), 1570–1581. https://doi.org/10.1111/ppl.13347

Evaluación morfogénica *in vitro* en especies de la familia *Cactaceae* influida con nanopartículas de cobre y quitosano

Oscar Acosta-Cabrera[1*]; Ma. Del Carmen Ojeda-Zacarías[1,2]; Alejandro Ibarra-López[1]; Emilio Olivares-Sáenz[1]; José Gerardo Uresti-Porras[1].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 660550.
[2]Instituto Tecnológico de Nuevo León-TecNM. Av. Eloy Cavazos No. 2001, Col. Tolteca, C.P. 67170, Guadalupe, Nuevo León.
*Email: oscar.acostac@uanl.edu.mx

Resumen. Ante la severa crisis de biodiversidad global que amenaza al 31% de las especies de la familia Cactaceae a causa del cambio climático (marcado por un incremento medio de 0.94 °C en las temperaturas nocturnas) y la incesante presión antropogénica por tráfico ilegal, la presente investigación evalúa de manera integral el potencial de la nanobioingeniería no transformadora para optimizar la propagación, biofortificación y aclimatación de especies estratégicas del semidesierto: Cactus monstruo, *Cereus repandus* (L.) Nopal forrajero mina *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Nopal nopalea, *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill. El objetivo de esta investigación consistió en determinar las dosis óptimas de nanopartículas de Cu y Cs en las especies evaluadas *in vitro* y *ex vitro*. Por lo tanto, se adicionaron de NPs termorresistentes directamente en las sales básicas del medio de Murashige y Skoog (MS) sin fitohormonas en diez niveles. En condiciones *ex vitro*, se estandarizaron los procesos de cicatrización y sustrato/enraizamiento. Los resultados de las evaluaciones *in vitro* de tolerancia determinaron que concentraciones superiores a 20 ppm en cobre (Cu) y 400 ppm en quitosano (Cs) desencadenan un drástico estrés oxidativo, identificando como rangos óptimos de elicitación 15 ppm para Cu y 200–300 ppm para Cs. Concluyendo en un estándar efectivo de dosis óptimas de nanopartículas en *Cereus repandus* y un establecimiento exitoso *ex vitro* en las especies evaluadas.
Palabras clave. Biotecnología, explantes, *ex vitro*, nanomateriales, oxidación.

Abstract. In response to the severe global biodiversity crisis threatening 31% of species within the Cactaceae family due to climate change characterized by an average 0.94 °C increase in nocturnal temperatures and relentless anthropogenic pressure from illegal trafficking, this study comprehensively evaluates the potential of non-transformative nanobioengineering to optimize the propagation, biofortification, and acclimatization of strategic semi-desert species: monstrose cactus (*Cereus repandus* (L.) Mill.), forage cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), and cochineal cactus (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill.). The main objective of this research was to determine the optimal doses of Cu and Cs nanoparticles for the evaluated species under *in vitro* and *ex vitro* conditions. Therefore, thermostable nanoparticles were incorporated directly into hormone free Murashige and Skoog (MS) basal medium salts across ten concentration levels. Under *ex vitro* conditions, scarring and substrate/rooting processes were standardized. Results from *in vitro* tolerance evaluations revealed that concentrations exceeding 20 ppm of copper (Cu) and 400 ppm of chitosan (Cs) trigger severe oxidative stress, identifying 15 ppm for Cu and 200–300 ppm for Cs as optimal elicitation ranges. In conclusion, an effective standard of optimal

nanoparticle dosages was established for *Cereus repandus*, alongside successful *ex vitro* establishment across the evaluated species.
Keywords: Biotechnology, explants, *ex vitro*, nanomaterials, oxidation.

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas de México albergan uno de los reservorios fitogenéticos más diversos, complejos y vulnerables del planeta, siendo el epicentro evolutivo de la familia Cactaceae con aproximadamente 700 especies descritas, de las cuales cerca del 45% son estrictamente endémicas del territorio nacional. En el escenario macroclimático contemporáneo, la biosfera se enfrenta a presiones térmicas e hídricas sin precedentes históricamente documentados. Diagnósticos ecofisiológicos y modelos de distribución de especies señalan que aproximadamente el 31% de las cactáceas se encuentran actualmente bajo una amenaza directa de extinción Cabrera-De la Fuente *et al*., 2025. Este acelerado declive se atribuye a la conjunción multifactorial de tres vectores críticos: la fragmentación desmedida del hábitat nativo, la extracción y comercio ilegal de ejemplares silvestres, y el calentamiento global acelerado.

Un aspecto microclimático fundamental poco visibilizado es el incremento térmico de las temperaturas nocturnas, estimado en un promedio global de incremento medio de 0.94 °C en los ecosistemas de aridez. Para los organismos que poseen Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (CAM), este aumento aparentemente modesto representa un desajuste fisiológico de proporciones severas. Las cactáceas regulan su intercambio gaseoso abriendo sus estomas exclusivamente durante la fase nocturna para fijar el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. Durante la fase diurna, las estomas permanecen herméticamente cerrados para evitar la evapotranspiración desmedida bajo la radiación solar incidente.

Cuando la humedad relativa nocturna decae y la temperatura nocturna sobrepasa el umbral metabólico óptimo, la planta se encuentra atrapada en un dilema bioenergético si abre las estomas bajo un aire nocturno cálido y seco, sufre un déficit hídrico letal por transpiración desmedida en cambio si los mantiene cerrados, cae en una condición de "inanición de carbono"

Adicionalmente, las cactáceas actúan como especies clave y plantas nodriza en los ecosistemas desérticos. Su arquitectura morfológica atenúa la radiación solar directa sobre la capa superficial del suelo, modula la temperatura del microambiente edáfico, capta la humedad condensada del aire y actúa como sumidero continuo de carbono. Asimismo, proveen refugio, agua metabólica y alimento a polinizadores nativos (himenópteros, lepidópteros y quirópteros) y fauna menor. Especies con mutaciones morfogénicas fasciculadas o monstruosas, como el "cactus monstruo" (*Cereus repandus*), presentan una reorganización masiva de los meristemos apicales y del sistema vascular parenquimatoso, constituyendo modelos biológicos invaluables para descifrar la plasticidad fenotípica y los mecanismos

moleculares de tolerancia a la radiación UV e hipertermia Villarreal & Chen, 2023.

Por otro lado, especies de alta productividad bioplástica como el Nopal forrajero mina *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Nopal nopalea, *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill. Representan pilares estratégicos para la seguridad alimentaria, la ganadería baja en emisiones y la bioeconomía en zonas de aridez extrema. Gracias a su eficiente conversión de agua en biomasa vegetativa, el nopal forrajero puede suministrar hasta el 80% del requerimiento hídrico de rumiantes en ganadería sustentable semiárida, optimizando la huella hídrica y de carbono en sistemas agropecuarios Torquato *et al*., 2026.

Para mitigar la pérdida de biodiversidad y revertir la deuda adaptativa, la biotecnología vegetal contemporánea ha convergido con la nanotecnología para dar lugar a la nanobioingeniería no transformadora. Esta disciplina utiliza nanomateriales sintéticos o biogénicos (con dimensiones entre 1 y 100 nm) como nano-biostimulantes, elicitores exógenos y sistemas de entrega foliar o radicular. A diferencia de la modificación genética recombinante, la nanobioingeniería no altera el genoma celular de forma permanente, sino que modula temporalmente la expresión génica, la actividad enzimática y la tasa metabólica mediante interacciones fisicoquímicas celulares de alta precisión.

En este proyecto, se evalúa el impacto de nanopartículas de cobre (NPCu) y quitosano (NPCs) aplicadas en cultivo *in vitro* e implantación *ex vitro*. El cobre opera como un micronutriente catalítico esencial en las plastocianinas del transporte electrónico fotosintético Wang *et al*., 2026; mientras que el quitosano (un biopolímero aminopolisacárido desacetilado de la quitina) ejerce una función de nanopriming inmunológico, induciendo la respuesta antioxidante primaria y la acumulación de metabolitos secundarios protectores Cabrera-De la Fuente *et al*., 2025; Monroy-Macías *et al*., 2026.

Materiales y Métodos

El trabajo experimental se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, ubicado en el Campus de Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, México (25°47'N, 100°19'O), durante el periodo comprendido de agosto a diciembre de 2026.

Material Vegetal y Limpieza Biológica
Se utilizaron tres modelos biológicos principales representativos de la diversidad morfológica de Cactaceae:
Cactus monstruo, *Cereus repandus* (L.) Nopal forrajero mina *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Nopal nopalea, *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill

Para el establecimiento micropropagativo, los explantes asépticos de aproximadamente 2.0 cm de longitud, obtenidas a partir de brotes cultivados *in vitro*. Para el material proveniente de campo (fase *ex vitro*), se recolectaron de la unidad académica de Marín (UANL) se sometieron

a un protocolo riguroso de desinfección superficial.

Formulación de Medios de Cultivo e Incorporación de Nanopartículas.

La multiplicación se evaluó utilizando como base la formulación de Murashige y Skoog (1962, MS) suplementada con vitaminas más 6-Bencilaminopurina (BAP) a 3.0 mg L^{-1} y Ácido 1-Naftalenacético (ANA) a 1.0 mg L^{-1}. Phytagel a 4.4 g L^{-1}. El pH del medio se ajustó rigurosamente a 5.5 ± 0.05 utilizando soluciones de NaOH o HCl 0.1 N antes de la adición del gelificante.

Para la evaluación nanobioingenieril aislada (estudios de tolerancia y nanopriming), se empleó un medio basal MS libre de fitohormonas sintéticas. Debido a la termorresistencia fisicoquímica de las nanopartículas de cobre (NPCu) y quitosano (NPCs), los nanomateriales se incorporaron directamente al medio hidrogel antes del proceso de autoclavado. Para evitar la aglomeración y sedimentación gravimétrica de las NPs en el fondo de los frascos, las suspensiones de medio se sometieron a agitación continua (400 rpm) y durante la dosificación de 30 mL a 50 mL en recipientes magentas termoestables. La esterilización del medio se ejecutó en autoclave de vapor saturado a 121 °C (1.2 kg cm^{-2} ≈ 115 kPa) durante 15 min.

Las NPCs actúan como elicitor exógeno imitando componentes de paredes fúngicas patógenas, desencadenando cascadas metabólicas de defensa sin provocar daños histológicos en la planta.

Establecimiento y Manejo *Ex Vitro*

Para la evaluación en vivero semi-controlado, se seleccionaron pencas sanas y maduras de Nopalea spp. y Opuntia ficus-indica. Tras la colecta en campo, el material vegetal se sometió a una fase de resguardo y cicatrización suberosa durante 7 días a temperatura ambiente (25 ± 3 °C) y humedad relativa reducida (< 40%) para prevenir infecciones por Erwinia o Fusarium. Posterior al sellado parenteral de los cortes, la siembra se ejecutó en bolsas de polietileno negro perforadas (2.0 L de capacidad) conteniendo un sustrato optimizado compuesto por mezcla de tierra. Se aplicó un esquema hídrico inicial diferenciado: riego superficial de aspersión ligera al momento del trasplante, seguido a las 48 horas de un riego a capacidad de campo para estimular el primordio radicular adventicio.

Diseño de Tratamientos y Fases Experimentales

El esquema experimental nanobioingenieril se dividió en cuatro fases secuenciales de dosificación:

Fase 1 (Evaluación de dosis bajas / preliminar): Concentraciones fisiológicas de seguridad de NPCu (5 ppm), NPCs tipo 1 (40 ppm), NPCs tipo 2 (40 ppm) y formulación híbrida (NPCs 1 40 ppm + NPCu 10 ppm).

Fase 2 (Curva de tolerancia y toxicidad lineal): Evaluación de rangos sub-óptimos y supra-óptimos para delimitar el umbral de oxidación. NPCu (1.25, 2.5, 10, 15, 20 ppm); NPCs (15.25, 35, 45, 50, 55 ppm); e híbridos binarios graduados.

Fase 3 (Evaluación Elicitora e Inocuidad Antifúngica): Dosis elevadas para potenciar

el sistema antioxidante celular y controlar posibles brotes endófitos. NPCs (100, 200, 300 ppm); NPCu (5, 10, 15 ppm); e híbridos binarios y dobles biopolímeros (NPCs 1 + NPCs 2).

Fase 4 (Nanopriming de Alto Estrés y Resistencia Externa): Dosis severas elicitantes de quitosano (hasta 400 ppm) combinadas con cobre (hasta 20 ppm) para evaluar límites de viabilidad celular.
Diseño Experimental y Análisis Estadístico
Para la etapa de multiplicación organogénica y evaluación de tolerancia nanobioingenieril *in vitro*, se implementó un diseño experimental factorial de 3 x 2 x 10 +3 (D x E x F + G), donde:

Factor D: Tres Especies Vegetales. Factor E: Tipos de Nanopartículas (Cu y Cs). Factor F: Diez Niveles de Concentraciónes. Factor G Un Control por especie.

Cada tratamiento contó con cinco repeticiones independientes, sembrando seis explantes homogéneos por unidad experimental (caja Magenta™). Se tomaron datos de las variables evaluadas cada siete días durante tres semanas.

Resultados y Discusión

Los resultados de esta fase en *Cereus repandus*. (cactus monstruo) revelaron una ventana de tolerancia nanobiotecnológica bien delimitada. Tal como se documenta en las pruebas de oxidación tras tres semanas de exposición continúa en medio MS libre de fitohormonas.

Las respuestas morfogénicas más favorables se obtuvieron a concentraciones de 15 ppm para NPCu (Figura 1) y entre 200 y 300 ppm para NPCs (Figura 2). En estos rangos, se observó una proliferación vigorosa de brotes laterales secundarios sin distorsiones en la arquitectura caulinar en un tiempo reducido en comparación al método de propagación convencional.

La respuesta a Concentraciones Supra-óptimas en tratamientos con concentraciones de cobre NPCu ≥ 20.0 ppm y quitosano NPCs ≥ 400.0 ppm, el porcentaje de necrosis aumentó de forma exponencial (alcanzando hasta un 100% de pardeamiento celular.

En nanobiotecnología agrícola, la diferencia entre la bioestimulación benéfica (hormesis) y la fitotoxicidad celular irreversible radica exclusivamente en el control nanométrico de la concentración. El cobre ionizable a dosis óptimas (15 ppm) actúa como cofactor prostético de la superóxido dismutasa de cobre/zinc (Cu/Zn-SOD) e induce citoprotección; no obstante, a concentraciones > 20 ppm provoca la formación de radicales hidroxilos mediante reacciones de Fenton, colapsando la fluidez de la membrana tilacoidal.



Figura 1. Establecimiento *in vitro* de Cactus monstruo, *Cereus repandus* (L.) De Cs a 300 ppm.



Figura 2. Establecimiento *in vitro* de Cactus monstruo, *Cereus repandus* (L.) De Cu a 15 ppm.

Al contrastar estos resultados con la literatura biotecnológica previa en cactáceas ornamentales o frutales, se evidencian diferencias taxonómicas sustanciales. Investigaciones conducidas por Martínez-Alcaraz (2021) en biznagas (*Ferocactus* spp.) y por Pérez-Reyes (2024) en pitahayas (*Hylocereus undatus*) reportaron signos severos de fitotoxicidad y detención del crecimiento fotosintético a dosis de cobre nanométrico superiores a 8.0 ppm. La destacada tolerancia observada en *Cereus repandus* (15.0 ppm) sugiere que su condición fenotípica monstruosa, caracterizada por epidermosis engrosada, alta concentración de mucílagos hidrofílicos y suberización vacuolar continua, actúa como un tampón fisicoquímico nativo que reduce la tasa de absorción iónica descontrolada de las nanopartículas, confiriéndole una resiliencia superior frente al estrés por metales pesados o nanomateriales.

Conclusiones

Las respuestas de esta investigación nos permitieron determinar las dosis óptimas de nanopartículas *in vitro* en *Cereus repandus* debido a la alta eficiencia y adaptación de la especie, además se estableció exitosamente *ex vitro* Cactus monstruo, Nopal forrajero mina. Nopal nopalea.

Este trabajo se constituye como la base para la continuidad de la siguiente fase de la investigación, en la adición de nanopartículas de cobre y quitosano *in vitro*.

Agradecimientos

A SECIHTI por el apoyo otorgado a través de la beca de posgrado para la realización de los estudios de Maestría.

A la Dra. Ma. del Carmen Ojeda-Zacarías, por su liderazgo científico, confianza e integración al equipo del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales.

Al Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, por su generosa colaboración al proveer los nanomateriales especializados fundamentales para esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Anzaldo-Montoya, M., Hernández-García, Y. I., Hernández-Montiel, L. G., & Hernández-Adame, L. (2024). Agronanotechnology in the arid zones of northern Mexico: Research, challenges, and new trends. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 26, 1-29. https://doi.org/10.56890/jpacd.v26i.534

Cabrera-De la Fuente, M., Fincheira, P., Peralta-Manjarrez, R. M., Tortella, G., & Benavides-Mendoza, A. (2025). Applications of nanobiostimulants and nanofertilizers in arid zone agroforestry systems. En D. Jabborova, D. Sarkar, R. S. Datta,

& S. Singh (Eds.), Nanomaterials in Agroforestry Systems (pp. 245-260). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1337-3_14

CONABIO. (2026). Patrones biogeográficos y estado de conservación de las cactáceas columnares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México.

Escobar, A. H. A., Villalobos, A. V. M., & Villegas, M. A. (1986). Opuntia micropropagation by axillary proliferation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 7, 269–277.

Estrada-Luna, A. A. (1988). Producción de brotes e injertación *in vitro* de seis especies de nopal (Opuntia spp.) originarias del altiplano potosino-zacatecano (Tesis de Maestría en Ciencias). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 160 p.

Estrada-Luna, A. A., Martínez-Hernández, J. J., Torres-Torres, M. E., & Chablé-Moreno, F. (2008). *In vitro* micropropagation of the ornamental prickly pear cactus Opuntia lanigera Salm–Dyck and effects of sprayed GA_3 after transplantation to ex vitro conditions. Scientia Horticulturae, 117, 378–385.

García-Saucedo, P. A., Valdez-Morales, M., Valverde, M. E., Cruz-Hernández, A., & Paredes-López, O. (2005). Plant regeneration of three Opuntia genotypes used as human food. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 80(2), 215–219.

Ghaffari, A., Hasanloo, T., & Nekouei, M. K. (2013). Micropropagation of tuna (Opuntia ficus-indica) and effect of medium composition on proliferation and rooting. International Journal of Biosciences, 3(11), 129–139.

Hubstenberger, J. F., Clayton, P. W., & Phillips, G. C. (1992). Micropropagation of cacti (Cactaceae). En Y. P. S. Bajaj (Ed.), Biotechnology in Agriculture and Forestry: High-Tech and Micropropagation IV (Vol. 20, pp. 49–68). Springer-Verlag, Berlin.

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2023). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Plant Biology, 3(2), 155-178. https://doi.org/10.1002/cppb.20230 01

López-Ramos, A. (2024). Propagación biotecnológica de formas monstruosas de Cactaceae para reducir el tráfico ilegal. Revista Iberoamericana de Botánica, 12(3), 88-102.

Martínez-Alcaraz, E. (2021). Evaluación nanotoxicológica del cobre en la micropropagación de Biznagas (Ferocactus spp.) (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Mata-Rosas, M., Monroy de la Rosa, M. A., Moebius-Goldammer, K., & Chávez-Ávila, V. M. (2001). Micropropagation of Turbinicarpus laui Glass et Foster, an endemic and endangered species. *In Vitro* Cellular & Developmental Biology - Plant, 37, 400-404.

Moebius-Goldammer, K. G., Mata-Rosas, M., & Chávez-Avila, V. M. (2003). Organogénesis y embriogénesis somática en Ariocarpus kotschoubeyanus (Lem.) K. Schum. (Cactaceae), una especie mexicana endémica y en peligro de extinción. *In Vitro* Cellular & Developmental Biology - Plant, 39, 388–393.

Monroy-Macías, D. F., Martínez-Chávez, L. A., Feregrino-Pérez, A. A., & Esquivel-Escalante, K. (2026). Arabidopsis thaliana: Una década como modelo de estudio de los efectos negativos de

nanopartículas metálicas. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 19(37), e69869. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2026.36.69869

Ojeda-Zacarías, M. del C., Vázquez-Alvarado, R. E., Ibarra-López, A., & Rodríguez-Pérez, G. (2017). Multiplicación *in vitro* de nopal cultivar Villanueva (Opuntia ficus-indica). En G. V. Vázquez-García *et al*. (Eds.), Biotecnología y Ciencias Agropecuarias (pp. 96-98). Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. ISBN 978-607-95228-9-6.

Pérez-Reyes, R. (2024). Impacto de nanopartículas metálicas en el cultivo *in vitro* de Hylocereus undatus. Biotecnología Vegetal Aplicada, 18(1), 45-58.

Sánchez, E., & Hernández, M. M. (2002). Propagation of Mexican cacti threatened with extinction. Cactus and Succulent Journal, 74(1), 17-21.

Sosa, V. E., & García, M. P. (1997). Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. FAO, Santiago, Chile. pp. 100–105.

Torquato, I. A., Jesús, M., Mata, F., Santos, J., Santana, H. E. P., Guimarães, J. M. S. C., Costa, C. T. F., Silva, D. P., & Ruzene, D. S. (2026). Optimización de una mezcla de cactus forrajero (Nopalea cochenillifera), heno de Tifton (Cynodon sp.) y urea para la alimentación eficiente de rumiantes en el ecotipo semiárido brasileño. Ruminants, 6(1), 4. https://doi.org/10.3390/ruminants6010004

Villarreal, D., & Chen, R. (2023). Water storage efficiency in monstrose vs. normal cacti phenotypes under extreme heat. Arid Land Research and Management, 37(4), 412-428. https://doi.org/10.1080/15324982.2023.2185632

Wang, R., Meng, J., Yang, S., Sun, B., Qian, W., & He, Y. (2026). Proteína quinasas dependientes de calcio en plantas: estructura, señalización y funciones reguladoras multifacéticas en el desarrollo y la adaptación al estrés. International Journal of Molecular Sciences, 27(4), 1843. https://doi.org/10.3390/ijms27041843

Conservación de germoplasma de Agave spp. mediante crecimiento mínimo y criopreservación

José Alejandro Segoviano-Covarrubias[1]*; Alejandro Ibarra-López[1]; Ma. del Carmen Ojeda-Zacarías[1]; Emilio Olivares-Sáenz[1]; Adriana Gutiérrez-Díez[1]; Liberato Portillo[2].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399.
[2]Departamento de Botánica y Zoología. Universidad de Guadalajara. Av. Juárez 976, Col. Americana, Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44100. Tel. (33) 3134 2222.
*Email: jose.segovianoco@uanl.edu.mx

Resumen. *Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*, especies de alto valor biocultural, enfrentan amenazas antrópicas y alteración de sus hábitats. En la siguiente investigación se evaluó el crecimiento y la anatomía foliar durante seis meses de conservación *in vitro* a mediano plazo, y la criopreservación de brotes adventicios y semillas sexuales. La ganancia de peso fresco difirió significativamente entre el control y los tratamientos con osmorreguladores. El control acumuló mayor biomasa; manitol y sorbitol a 50 g L^{-1} y sorbitol a 70 g L^{-1} limitaron más la ganancia de peso (0.6, 0.55 y 0.55, respectivamente). La histología de controles y plantas con manitol a 60 g L^{-1} permitió describir el mesófilo e identificar estructuras epidérmicas y vasculares. En *A. victoriae-reginae*, este tratamiento incrementó significativamente la densidad estomática respecto al control. En *A. gilbeyi*, sorbitol a 50 y 60 g L^{-1} superó significativamente a manitol a 50 g L^{-1}, sin diferencias respecto al control. Mientras que la supervivencia durante la aclimatación superó el 82 % en ambas especies. La criopreservación de brotes mostró diferencias significativas entre especies y tratamientos. En *A. victoriae-reginae*, Crioplato-V con PVS2 y nitrógeno líquido alcanzó la mayor viabilidad (58.36 %); Crioplato-D, con 120 min de deshidratación y nitrógeno líquido, permitió la mayor regeneración (27.78 %) y el mayor incremento de brotes (3.17 por explante). Los brotes de *A. gilbeyi* no sobrevivieron en ningún tratamiento. Las semillas de ambas especies sobrevivieron y germinaron después de la inmersión en nitrógeno líquido, sin diferencias significativas en el análisis factorial. Estos resultados contribuyen al desarrollo de estrategias de conservación del germoplasma.
Palabras clave. *Agave*, Fitorrecursos, Histología, Criopreservación, Germoplasma

Abstract. *Agave gilbeyi* and *A. victoriae-reginae*, species of high biocultural value, face anthropogenic threats and habitat alteration. This study evaluated growth and leaf anatomy during six months of medium-term *in vitro* conservation, as well as the cryopreservation of adventitious shoots and zygotic seeds. Fresh weight gain differed significantly between the control and treatments containing osmotic agents. The control accumulated the greatest biomass, whereas mannitol and sorbitol at 50 g L^{-1} and sorbitol at 70 g L^{-1} restricted weight gain the most (0.6, 0.55, and 0.55, respectively). Histological examination of control plants and those treated with 60 g L^{-1} mannitol characterized mesophyll organization and identified epidermal and vascular structures. In *A. victoriae-reginae*, this treatment significantly increased stomatal density relative to the control. In *A. gilbeyi*, sorbitol at 50 and 60 g L^{-1} resulted in significantly higher stomatal density than mannitol at 50 g L^{-1}, without significant differences from the control. Survival during acclimatization exceeded 82% in both species. Shoot cryopreservation responses differed significantly between species and treatments. In *A. victoriae-reginae*, V cryo-plate with PVS2 and liquid nitrogen immersion achieved the

highest viability (58.36%), whereas D cryo-plate with 120 min of dehydration and liquid nitrogen immersion yielded the highest regeneration (27.78%) and greatest increase in shoot number (3.17 per explant). No *A. gilbeyi* shoots survived any treatment. Seeds of both species survived and germinated following liquid nitrogen immersion, with no significant differences detected by factorial analysis. These findings contribute to the development of germplasm conservation strategies.
Keywords. *Agave*, Phytoresources, Histology, Cryopreservation, Germplasm

Introducción

El género *Agave* comprende especies de alto valor ecológico y económico en México (González-Elizondo, 2011). Sin embargo, *Agave victoriae-reginae* y *A. gilbeyi* enfrentan diversas amenazas por la presión antrópica y pérdida de hábitat (González-Elizondo, 2011; Núñez-Palenius y Herrera-Isidron, 2014). Ante esto, el cultivo de tejidos vegetales se ha consolidado para la propagación y la conservación *ex situ* (Martínez-Palacios *et al*., 2003; Núñez-Palenius y Herrera-Isidron, 2014). Para la gestión de bancos de germoplasma a mediano plazo, agentes osmóticos como el manitol y el sorbitol reducen el crecimiento vegetal y los subcultivos (Pérez-Molphe-Balch *et al*., 2012); no obstante, el estrés osmótico generado requiere de análisis histológico para evaluar la integridad anatómica y la viabilidad de los tejidos (Pérez-Molphe-Balch *et al*., 2012). Como complemento a largo plazo, la criopreservación asegura la estabilidad genética y la supervivencia del material por tiempo indefinido sin riesgo de contaminación o variación somaclonal (Martínez, 2014). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la conservación de germoplasma de *A. victoriae-reginae* y *A. gilbeyi* mediante condiciones de crecimiento mínimo y criopreservación, a través del análisis de sus respuestas morfológicas, anatómicas y de supervivencia.

Materiales y métodos

Localización del estudio. El estudio se desarrolló de enero a noviembre de 2026 en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, (General Escobedo, Nuevo León).

Material vegetal. Se utilizaron semillas maduras de *Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*, germinadas y multiplicadas *in vitro* para obtener el material vegetal necesario para los ensayos de conservación.

Conservación a mediano plazo mediante crecimiento mínimo. Plántulas *in vitro* de *Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae* se sembraron en medio un básico MS suplementado con manitol y sorbitol (50, 60 y 70 g L^{-1}), además de un tratamiento control libre de agentes osmóticos. Se registró el peso fresco inicial (g) de cada plántula y se incubaron a 23 $\pm$ 2 °C con un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h obscuridad durante 6 meses, evaluando al final el peso fresco (g) para determinar el efecto del estrés osmótico en la acumulación de biomasa.

Histología. Secciones foliares de los tratamientos de crecimiento mínimo, fueron seleccionados para evaluar la histología del mesófilo. Las secciones foliares se fijaron en solución FAA (formaldehído al 10 %,

etanol absoluto 50 %, ácido acético glacial 5 %, y agua bidestilada 35 % [v/v/v/v]) (Jensen 1962), a 4 °C durante 24 h. Posteriormente, se deshidrataron en una serie graduada de formaldehído (2 ×), etanol 80 %, etanol 96 %, etanol 100 % (2 ×) y alcohol isopropílico 100 %, y se clarificaron en soluciones de alcohol isopropílico-xileno (1:1) y xileno (2 ×). Las muestras fueron embebidas en parafina (2 ×) para su inclusión histológica y se realizaron cortes de 4 µm de espesor mediante micrótomo automático. Los cortes fueron desparafinados en xileno (2 ×) y rehidratados con etanol (100 %), seguido por etanol al 96 % (2 ×). La tinción se realizó con safranina O al 1 % (p/v) y Fast Green FCF al 0.1 % (p/v), considerando el protocolo de Moreno-Sanz *et al*. (2020) con modificaciones. Finalmente, las muestran se montaron con medio de montaje Entellan® y se observaron bajo microscopio óptico para su análisis histológico.

Por su parte, para medir la densidad de estomas se realizó la metodología descrita por Wu and Zhao (2017), aplicando una capa de barniz de uñas sobre la epidermis abaxial de hojas de los diferentes tratamientos de crecimiento mínimo. Para su evaluación, se consideraron dos plantas por repetición de cada tratamiento, de las cuales se utilizó la tercera o cuarta hoja contada desde la base hacia el ápice de la roseta, sin daño físico y sin signos de oxidación. De cada impresión se observaron tres campos aleatorios (10 x) y se cuantificó el número de estomas. Para la evaluación de la densidad estomática, se utilizó la ecuación $DE = \frac{NE}{A}$, donde DE corresponde a la densidad estomática expresada en estomas/mm²; NE, al número de estomas contabilizados; y A, al área examinada, expresada en mm².

Adaptación y supervivencia *ex vitro* posterior al crecimiento mínimo. Las plántulas recuperadas del ensayo a mediano plazo se retiraron de los frascos de cultivo y se lavaron las raíces con agua bidestilada tibia para eliminar los residuos del medio de cultivo. Posteriormente las plántulas de *Agave victoriae-reginae* (n = 74) y *A. gilbeyi* (n = 56) se trasplantaron a recipientes de polipropileno (500 mL) con vermiculita humedecida. La aclimatación se realizó en el Laboratorio de Hidroponía a 23 ± 2 °C durante 60 días, registrando al final el número de plantas vivas por especie para evaluar el porcentaje global de supervivencia *ex vitro*.

Conservación a largo plazo mediante criopreservación de brotes adventicios. Se evaluaron dos métodos de criopreservación (Crioplato-D y Crioplato-V) utilizando brotes adventicios de ~0.5 cm de longitud, provenientes de la etapa de multiplicación de ambas especies de *Agave* (Cuadro 1). El procedimiento de cada técnica se describe a continuación:

Crioplato-V. Los brotes adventicios extraídos fueron sembrados en un medio de precultivo compuesto por MS al 50 % (Murashige y Skoog, 1962) y 0.3 M de sacarosa. En este medio, los explantes permanecieron durante 24 h a una temperatura de 3 °C y en completa oscuridad hasta el procedimiento de criopreservación. Después de este periodo los brotes se colocaron uno por uno en un crioplato de aluminio estériles de 0.5 cm de ancho por 2.0 cm de largo. Posteriormente

se colocaron 2 µL de alginato de sodio al 2 % sobre los bordes de los orificios del crioplato. La matriz se preparó con MS 50 % más 2 % de alginato de sodio (p/v) y 0.4 M de sacarosa. Después fueron colocados en una solución de MS 50 % con $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ a 0.1 M y 0.4 M de sacarosa por 15 min hasta conseguir la polimerización. A continuación, los crioplatos se sumergieron en una solución de carga durante 20 min y después se depositaron en crioviales de 2 mL y se les añadió la solución PVS2 o PVS3 (Sakai *et al*., 1990; Nishizawa *et al*., 1993) durante 90 min. La solución PVS2 se compuso de MS al 50 % con 30 % (p/v) de glicerol, 15 % (p/v) de etilenglicol, 15 % (p/v) de dimetilsulfóxido (DMSO) y 0.4 M de sacarosa. En el caso de la solución PVS3, se empleó MS al 50 % con una mezcla equimolar de sacarosa y glicerol (50 %).

Los crioviales fueron transferidos a nitrógeno líquido por 10 min y después los crioplatos se sumergieron en una solución de recalentamiento durante 20 min. Posteriormente, los explantes fueron sembrados en un medio de precultivo durante 10 días en oscuridad y luego subcultivados en un medio de recuperación MS al 50 % con 0.3 mg L^{-1} de TDZ y 0.02 mg L^{-1} de AIA por 96 h en oscuridad, a una temperatura de 24 ± 2 °C. Finalmente, los brotes fueron incubados bajo las mismas condiciones térmicas mencionadas y una intensidad lumínica de 1.7 mmol m^{-2} s^{-1} por siete días y posteriormente, con un fotoperiodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad, a una intensidad lumínica de 24 µmol m^{-2} s^{-1}, durante ocho semanas.

Crioplato-D. Los brotes adventicios fueron sometidos al mismo procedimiento de precultivo y posteriormente, fueron colocados en crioplatos para después ser embebidos con alginato de sodio al 2 % y polimerizados con $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ a 0.1 M, como se describe en el protocolo anterior. Después, los crioplatos fueron sumergidos en una solución de carga por 20 min. Posteriormente, los crioplatos se colocaron en una caja Petri con papel filtro y se procedió a la deshidratación en una campana de flujo laminar por 90 y 120 min. Después de la deshidratación los crioplatos fueron colocados en crioviales y se depositaron en nitrógeno líquido por 10 min. Finalmente, los crioplatos fueron colocados en una solución de recalentamiento por 20 min. Los brotes fueron mantenidos en incubación bajo las mismas condiciones controladas y durante el mismo período de tiempo, según lo descrito anteriormente.

Cuadro 1. Tratamientos para las técnicas de criopreservación de brotes adventicios.

Técnica	Tratamiento	NL	Deshidratación	Solución crioprotectora
Crioplato-D	D1	-	90 min	NA
	D2	+	90 min	NA
	D3	-	120 min	NA
	D4	+	120 min	NA
Crioplato-V	V1	-	NA	PVS2
	V2	+	NA	PVS2
	V3	-	NA	PVS3
	V4	+	NA	PVS3

Criopreservación mediante semilla sexual. Se aplicó la prueba gravimétrica de la ISTA (2024) en semillas de *Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae,* para verificar el un porcentaje de humedad entre el 5 y 8 % y evitar la formación de cristales de hielo. Las

semillas (22 de *A. gilbeyi* y 60 de *A. victoriae-reginae,* según su tamaño), se introdujeron en crioviales, se expusieron a nitrógeno líquido (-196°C) durante 10 min y se descongelaron en baño María a 40 °C durante 20 min (Cuadro 2). Tras ello, se sembraron en cajas Petri (100 x 100 mm) con papel filtro humedecido e incubaron a 23 $\pm$ 2 °C con un fotoperiodo de 14 h luz y 10 h de oscuridad, evaluando la tasa de supervivencia mensualmente durante seis meses.

Cuadro 2. Tratamientos de criopreservación de semilla sexual en *Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*.

Especie	Tratamiento	Inmersión en nitrógeno líquido
Agave gilbeyi	T1	+
	T2	-
Agave victoriae-reginae	T1	+
	T2	-

Diseños experimentales y análisis estadístico. Para la conservación a mediano plazo el experimento se estableció bajo un Diseño Completamente al azar (DCA) de un solo factor (tratamiento) con siete niveles: un tratamiento control (libre de agentes osmóticos) y seis tratamientos adicionados con reguladores osmóticos (manitol y sorbitol en concentraciones de 50, 60 y 70 g L^{-1}). Se evaluaron cuatro repeticiones por tratamiento (n = 4). El peso fresco final se analizó mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) lineal y la comparación de medias con la prueba de Tukey (α = 0.05). Por su parte, en la densidad estomática se utilizaron dos plantas por repetición (n = 4) de ambas especies de *Agave*, de las cuales se tomó la tercera o cuarta hoja para realizar la impresión de la epidermis abaxial. De estas impresiones se realizó el conteo de estomas en tres campos aleatorios y después se procedió a evaluar la densidad estomática. Para esta evaluación se utilizó un DCA de un solo factor con cuatro repeticiones por tratamiento. Después se realizó un ANOVA y se compararon las medias mediante Tukey (α = 0.05).

En la criopreservación de brotes adventicios el experimento se estableció bajo DCA con arreglo bifactorial 2 x 8 desbalanceado, donde el factor A correspondió A la especie (*Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*) y el factor B al tratamiento de criopreservación (D1-D4 y V1-V4). Cada tratamiento contó con tres repeticiones, utilizando entre 4 y 7 explantes (brotes adventicios) por unidad experimental. Las variables de viabilidad, oxidación y regeneración se analizaron mediante un modelo Lineal Generalizado (GLM) con distribución binomial (enlace *Logit*), mientras que para el número de brotes se aplicó un GLM con distribución Poisson. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (α = 0.05).

En la criopreservación mediante semilla sexual se utilizó DCA con arreglo bifactorial 2 x 2, donde el factor A correspondió a la especie (*Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*) y el factor B al tratamiento de criopreservación (con y sin inmersión en nitrógeno). Cada tratamiento contó con tres repeticiones utilizando entre 6 y 20 semillas por unidad experimental. El porcentaje de germinación se analizó mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey (α = 0.05).

Finalmente, en la aclimatación *ex vitro* la variable de supervivencia se evaluó de manera descriptiva mediante el cálculo del porcentaje global de plántulas aclimatadas exitosamente por especie [(plántulas vivas/plántulas iniciales) * 100].

Resultados y discusión

Conservación a mediano plazo mediante crecimiento mínimo.

Agave gilbeyi. El análisis estadístico mostró diferencias significativas $(p < 0.05)$ en el peso fresco final tras 6 meses al comparar el control (Medio MSB sin agentes osmóticos) con los tratamientos suplementados con manitol y sorbitol (Figura 1). El control registró el mayor incremento de peso fresco (2.65 g). En contraste, los tratamientos 2 y 5 (manitol y sorbitol a 50 g L^{-1}), junto con sorbitol a 70 g L^{-1}, limitaron la ganancia de peso en mayor medida en comparación con los demás tratamientos (0.6, 0.55 y 0.55 g, respectivamente).

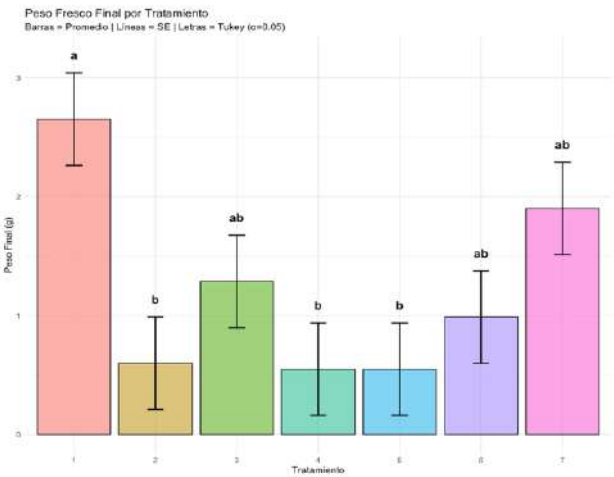


Figura 1. Peso final de los tratamientos de la conservación a mediano plazo mediante crecimiento mínimo en *Agave gilbeyi*.

Agave victoriae-reginae. El análisis estadístico mostró diferencias significativas $(p < 0.05)$ en el peso fresco final tras 6 meses al comparar el tratamiento control (Medio MSB sin agentes osmóticos) frente a los suplementados con manitol y sorbitol (Figura 2). El control presentó el mayor incremento de peso fresco (2.13 g), mientras que el tratamiento adicionado con 60 g L^{-1} de manitol (T3) limitó la ganancia de peso en mayor medida en comparación con los demás tratamientos (0.21 g).

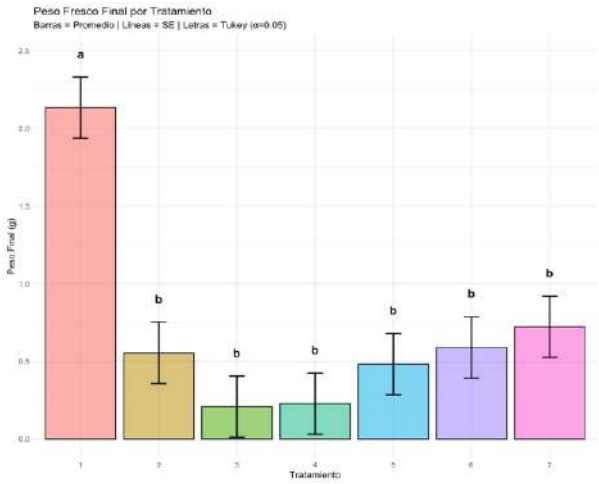


Figura 2. Peso final de los tratamientos de la conservación a mediano plazo mediante crecimiento mínimo en *Agave victoriae-reginae*.

Densidad estomática. Después de seis meses de conservación *in vitro* bajo condiciones de crecimiento mínimo, la densidad estomática abaxial de *Agave victoriae-reginae* varió entre 5.68 y 13.62 estomas mm^{-2} (Cuadro 3). El tratamiento con 60 g L^{-1} de manitol presentó la mayor media (13.62 ± 2.32 estomas mm^{-2}) y fue significativamente superior al control. Los tratamientos restantes presentaron medias entre 9.65 y 12.51 estomas mm^{-2} y no mostraron diferencias significativas respecto al control ni al tratamiento con 60 g L^{-1} de manitol. Aunque todos los tratamientos con agentes osmóticos registraron medias numéricamente superiores al control, la diferencia

únicamente fue significativa con 60 g L^{-1} de manitol.

En *A. gilbeyi*, la densidad estomática osciló entre 4.19 y 12.07 estomas mm^{-2} (Cuadro 3). Las mayores medias se registraron con sorbitol a 50 y 60 g L^{-1}, con 12.04 ± 3.35 y 12.07 ± 1.52 estomas mm^{-2}, respectivamente. Ambos tratamientos fueron significativamente superiores al manitol a 50 g L^{-1}, que presentó la menor media (4.19 ± 0.45 estomas mm^{-2}). El control, el manitol a 60 y 70 g L^{-1} y el sorbitol a 70 g L^{-1} no difirieron significativamente de los tratamientos con las mayores o menores medias. Por tanto, ninguno de los tratamientos con agentes osmóticos presentó diferencias significativas respecto al control. En ambas especies, las medias observadas no siguieron un patrón monotónico de aumento o disminución conforme se incrementó la concentración de manitol o sorbitol.

Cuadro 3. Efecto de agentes osmóticos en la densidad estomática durante la conservación a mediano plazo en *A. victoriae-reginae* y *A. gilbeyi*.

Tratamiento	Densidad estomática (estomas mm^{-2})	
	Agave victoriae-reginae	***Agave gilbeyi***
Control	5.68 ± 0.95 b	9.70 ± 0.78 ab
50 g L^{-1} Manitol	9.65 ± 1.46 ab	4.19 ± 0.45 b
60 g L^{-1} Manitol	13.62 ± 2.32 a	7.62 ± 1.53 ab
70 g L^{-1} Manitol	12.51 ± 1.93 ab	4.80 ± 0.70 ab
50 g L^{-1} Sorbitol	9.85 ± 2.43 ab	12.04 ± 3.35 a
60 g L^{-1} Sorbitol	9.86 ± 1.10 ab	12.07 ± 1.52 a
70 g L^{-1} Sorbitol	11.48 ± 1.75 ab	7.62 ± 1.40 ab

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey sig. $p \leq 0.05$). Medias más error experimental.

Determinación histológica de mesófilo. La evaluación histológica se realizó en segmentos foliares de los diferentes tratamientos de crecimiento mínimo en *Agave victoriae-reginae* y *A. gilbeyi*, al finalizar seis meses de conservación *in vitro*. En la Figura 3 se presentan los resultados de los tratamientos control y con 60 g L^{-1} de manitol, este último se seleccionó por la restricción del crecimiento vegetativo observada durante la conservación.

En *A. victoriae-reginae*, la sección del tratamiento control permitió distinguir las superficies adaxial y abaxial, así como el tejido parenquimático del mesófilo, integrado por células de tamaño y contorno variables (Figura 3A). En la sección del tratamiento con 60 g L^{-1} de manitol también se reconocieron ambas superficies y el parénquima interno; sin embargo, la organización del tejido presentó un aspecto más irregular y una discontinuidad amplia en la región central de la imagen (Figura 3B).

En *A. gilbeyi*, la micrografía del control mostró un detalle de la epidermis abaxial, una estructura estomática y las células parenquimáticas subyacentes, con paredes distinguibles y contornos variables (Figura 3C). En el tratamiento con 60 g L^{-1} de manitol se observó una sección de perfil curvado, en la que se identificaron las superficies epidérmicas, el mesófilo y haces vasculares distribuidos en el tejido interno (Figura 3D).

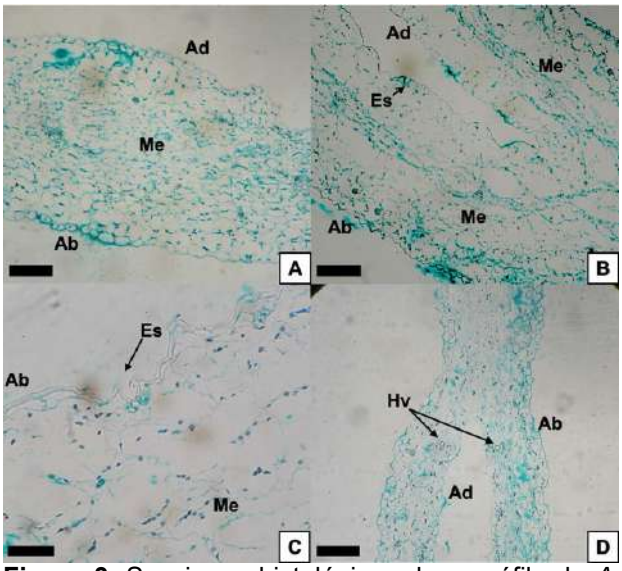


Figura 3. Secciones histológicas de mesófilo de *A. victoriae-reginae* y *A. gilbeyi* después de su evaluación en crecimiento mínimo *in vitro*. A) Mesófilo de *A. victoriae-reginae* en tratamiento control y con 60 g L^{-1} de manitol, respectivamente. C y D) Mesófilo de *A. gilbeyi* en tratamiento control y con 60 g L^{-1} de manitol, respectivamente. Ad: epidermis adaxial; Ab: epidermis abaxial; Es: estoma; Me: mesófilo; Hv: haces vasculares. Barras: 100 µm en A, B y D y 25 µm en C.

Adaptación y supervivencia *ex vitro* posterior al crecimiento mínimo. Tras la etapa de conservación a mediano plazo mediante crecimiento mínimo, las plántulas recuperadas mostraron una alta capacidad de respuesta durante la fase de aclimatación en sustrato. Para *Agave victoriae-reginae*, se registró una tasa global de supervivencia de 82.43% (61 de 74 plántulas. Por su parte, *Agave gilbeyi* presentó un desempeño equivalente, alcanzando un 82.14% de supervivencia (46 de 56 plántulas). De manera general, el proceso de aclimatación *ex vitro* permitió la transferencia exitosa del 82.31% del total del material vegetal evaluado (107 de 130 plántulas). En el Cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos de la aclimatación *ex vitro* tras un periodo de tres meses de evaluación.

Cuadro 4. Evaluación de aclimatación *ex vitro* de *Agave victoriae-reginae* y *A. gilbeyi* tras 3 meses de evaluación.

Especie	Plántulas iniciales	Plántulas sobrevivientes	Supervivencia (%)
Agave victoriae-reginae	74	61	82.43
Agave gilbeyi	56	46	82.14
Total	130	107	82.31

Conservación a largo plazo mediante criopreservación de brotes adventicios. El análisis mostró diferencias altamente significativas $(p < 0.001)$ en viabilidad, regeneración y número de brotes adventicios entre las técnicas (Crioplato-D y Crioplato-V) y las especies evaluadas tras tres meses (Figuras 4, 5 y 6). En *Agave victoriae-reginae*, la técnica Crioplato-V (con solución PVS2 e inmersión en nitrógeno líquido) alcanzó la mayor viabilidad (58.36%). Por su parte, la técnica Crioplato-D (120 min de deshidratación e inmersión en nitrógeno líquido) propició la mayor regeneración de explantes (27.78%) y el máximo incremento de brotes (3.17 por explante). En contraste, los brotes adventicios de *A. gilbeyi* no sobrevivieron a ningún tratamiento.

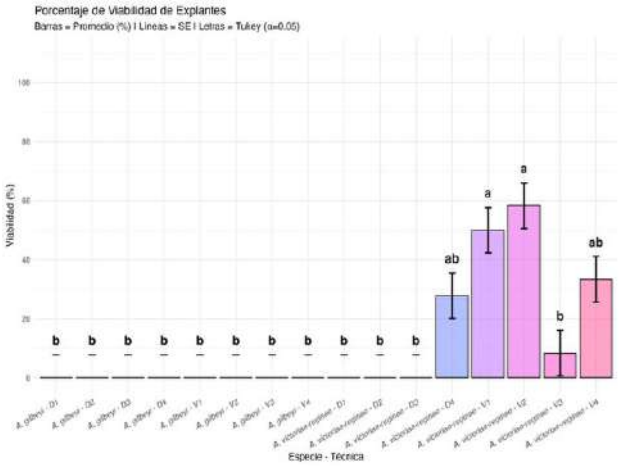


Figura 4. Efecto de las técnicas de criopreservación en la viabilidad de brotes adventicios de *A. gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*.

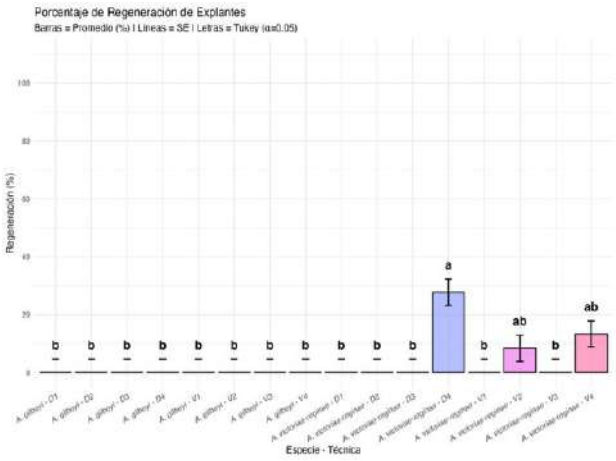


Figura 5. Efecto de las técnicas de criopreservación en la regeneración de brotes adventicios de *A. gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*.

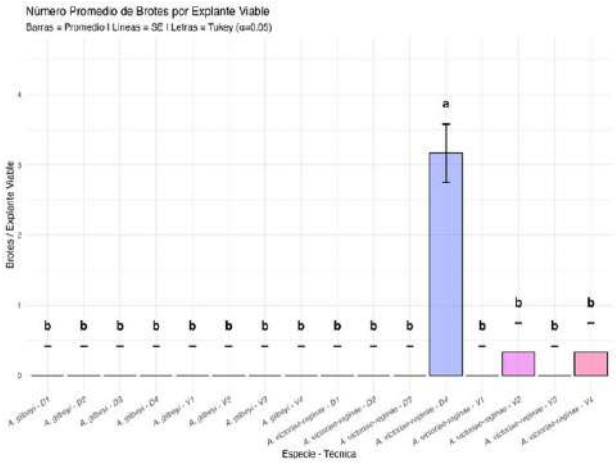


Figura 6. Efecto de las técnicas de criopreservación en la formación de brotes de explantes adventicios de *A. gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*.

Los resultados desfavorables pueden justificarse por diversos factores críticos. En primer lugar, la eficacia de los métodos de criopreservación depende de estrictamente de la calidad, el grado de diferenciación y el tamaño del meristemo inicial (Engelman y Sakai, 2007). Así mismo, en técnicas de vitrificación química como Crioplato-V y Gota-vitrificación, una sensibilidad excesiva a la solución PVS2 o tiempos de exposición inadecuados a temperatura ambiente provocan una severa citotoxicidad y colapso osmótico previo a la inmersión en nitrógeno líquido (Benson *et al*., 2008).

Criopreservación mediante semilla sexual. El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias significativas $(p > 0.05)$ al evaluar la interacción entre la especie (*Agave gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*) y los tratamientos de criopreservación evaluados (con y sin inmersión de nitrógeno líquido) sobre el porcentaje de supervivencia de semillas sexuales, perteneciendo todos los tratamientos al mismo grupo estadístico (Tukey, α = 0.05; Figura 7). Aunque *A. gilbeyi* presentó numéricamente la mayor supervivencia en el tratamiento 2 (83.33%) y la menor en el tratamiento 1 (34.72%), la alta variabilidad entre repeticiones impidió detectar diferencias estadísticamente significativas. Por su parte, *A. victoriae-reginae* mantuvo valores homogéneos entre los tratamientos (51.67% y 53.33%, respectivamente), demostrando que la viabilidad de las semillas de ambas especies no se ve comprometida por el proceso de criopreservación.

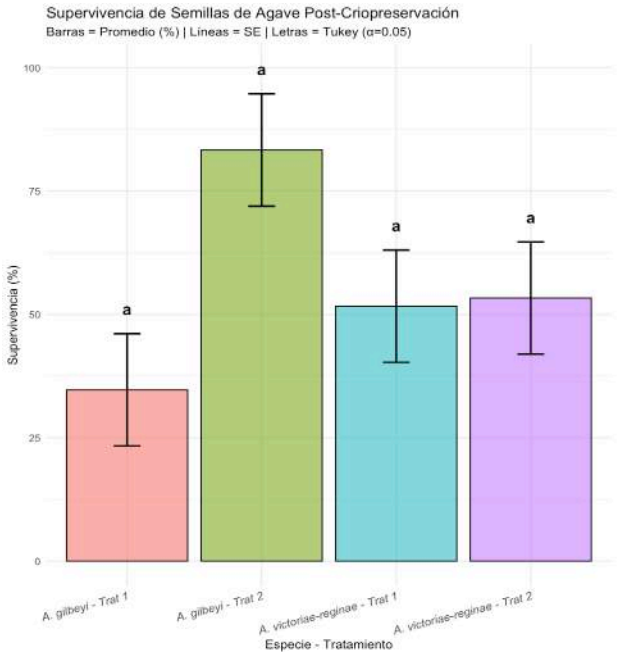


Figura 7. Supervivencia de semillas sexuales post-criopreservación de *A. gilbeyi* y *A. victoriae-reginae*, después de seis meses de evaluación.

Conclusiones

En crecimiento mínimo, las concentraciones de 50 g L^{-1} de manitol y sorbitol limitaron la ganancia de peso fresco en ambas especies de *Agave*, favoreciendo su conservación a mediano plazo. El análisis histológico permitió caracterizar el mesófilo y la densidad estomática mostró variaciones entre tratamientos; sin embargo, no se evidenció daño celular atribuible al manitol ni cambios en la funcionalidad estomática. Respecto a la criopreservación, la respuesta varió según la especie y el explante: los brotes adventicios de *A. victoriae-reginae* se recuperaron, mientras que los de *A. gilbeyi* no sobrevivieron, por lo que se recomienda explorar otros explantes. Finalmente, las semillas sexuales de ambas especies sobrevivieron y germinaron tras la inmersión en nitrógeno líquido, respaldando su potencial para conservación a largo plazo.

Referencias bibliográficas

Asociación Internacional de Ensayo de Semillas [ISTA]. (2024). Reglas Internacionales para el Ensayo de Semillas. ISTA, Wallisellen, Suiza.

Benson, E. E. (2008). Cryopreservation of plant germplasm—a review of current and future challenges. South African Journal of Botany, 74(3), 362-371.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Reséndiz-Rojas, L., Tena-Flores, J. A., & Retana-Rentería, F. I. (2011). El complejo Agave victoriae-reginae (Agavaceae). Acta Botanica mexicana, (95), 65-94.

Jensen W.A. (1962). Botanical histochemistry: principles and practice. Freeman WH & Co., San Francisco, p 408.

Martínez-Palacios, A., Ortega, J., & Rodríguez-Garay, B. (2003). Somatic embryogenesis and organogenesis of Agave victoriae-reginae: Considerations for its conservation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 74(2), 135-142.

Martínez, L. P. (2014). Avances en la criobiotecnología de Agave spp. En Agaves y derivados: Ciencia y tecnología. CIATEJ.

Moreno-Sanz, P., D'Amato, E., Nebish, A., Costantini, L., & Grando, M. S. (2020). An optimized histological proceeding to study the female gametophyte development in grapevine. *Plant Methods*, *16*(1), 61.

Nishizawa, S., Sakai, A., Amano, Y., & Matsuzawa, T. (1993). Cryopreservation of asparagus (Asparagus officinalis L.) embryogenic suspension cells and subsequent plant regeneration by vitrification. Plant Science, 91(1), 67–73.

Núñez-Palenius, H. G., & Herrera-Isidrón, L. (2014). Micropropagation of Agave victoriae-reginae (T. Moore) in a Temporary Immersion System. En Sustainable and Integral Exploitation of Agave. CIATEJ.

Pérez-Molphe-Balch, E., Esparza-Araiza, M. J., & Pérez-Reyes, M. E. (2012). Conservación in vitro de germoplasma de Agave spp. bajo

condiciones de crecimiento retardado. Revista Fitotecnia Mexicana, 35(4), 279-286.

Sakai, A., Kobayashi, S., & Oiyama, I. (1990). Cryopreservation of nucellar cells of navel orange (Citrus sinensis Osb. var. brasiliensis Tanaka) by vitrification. Plant Cell Reports, 9(1), 30–33.

Sakai, A., & Engelmann, F. (2007). Vitrification, encapsulation-vitrification and droplet-vitrification: A review. CryoLetters, 28(3), 151-172.

Wu, S., & Zhao, B. (2017). Using clear nail polish to make Arabidopsis epidermal impressions for measuring the change of stomatal aperture size in immune response. In *Plant pattern recognition receptors: methods and protocols* (pp. 243-248). New York, NY: Springer New York

Caracterización bromatológica de especies de pastos nativos y naturalizados del noreste de México

Yesly Lizbeth Cazares-Villanueva[1*]; Lidia Rosaura Salas-Cruz[1]; Carlos Alberto Hernández-Martínez[1]; Maginot Ngangyo-Heya[1]; Jesús Andrés Pedroza-Flores[1]; Juan Emmanuel Segura-Carmona[1]; Cynthia Adriana Nava-Berumen[2].
[1]Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050.
[2]Universidad Juárez del estado de Durango. Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Tel. 4881323850.
*Email: yesly.cazaresvnv@uanl.edu.mx

Resumen. Las especies de pastos forrajeros son un componente esencial del sistema de producción ganadera, debido a su importancia como fuente de alimento para el ganado al favorecer su bienestar y productividad animal. Sin embargo, en los últimos años, el noreste de México ha presentado periodos de déficit de precipitación que han afectado el desarrollo de los pastos presentes en los agostaderos. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar la composición bromatológica de los pastos Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) y Barbón bicolor (*Pappohorum bicolor* E.). Donde, Barbón bicolor presentó mayor contenido de proteína cruda (7.73 %) que buffel (5.05 %). Sin embargo, Buffel presentó menor cantidad de fibra detergente neutro (73.10 %), fibra detergente ácido (51.37 %) y lignina (8.47 %), además de un mayor valor relativo del forraje (62.21%) frente a 45.53 % para Barbon bicolor. Asimismo, Buffel presentó mayor contenido de extracto etéreo (1.99 %) y cenizas (11.35 %), mientras que Barbón bicolor mostró mayor fibra cruda (35.65 %) y extracto libre de nitrógeno (48.30 %). Estos resultados muestran características complementarias en ambas especies que pueden contribuir a su evaluación como recurso forrajero en condiciones de escasez de agua.
Palabras clave. sequía, ganado, forraje, Nuevo León

Abstract. Forage grass species are an essential component of the livestock production system, given their importance as a food source for livestock and their role in animal welfare and productivity. However, in recent years, northeastern Mexico has experienced periods of low rainfall that have affected the growth of grasses in grazing lands. The objective of this study was to characterize the nutritional composition of Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) and Barbón bicolor (*Pappohorum bicolor* E.). Barbón had a higher crude protein content (7.73%) than Buffel (5.05%), however, Buffel had lower levels of neutral detergent fiber (73.10%), acid detergent fiber (51.37%), and lignin (8.47%), as well as a higher relative forage value (62.21 vs. 45.53%). Likewise, buffel grass had a higher content of ether extract (1.99%) and ash (11.35%), while Barbón grass had higher crude fiber (35.65%) and nitrogen-free extract (48.30%). These results demonstrate complementary characteristics in both species that may contribute to their evaluation as forage resources under water-scarce conditions.
Keywords: drought, livestock, forage, Nuevo León

Introducción

Los pastos forrajeros constituyen la principal fuente de alimento en los sistemas de producción vaca-becerro, así como las demás especies de caprinos y ovinos bajo un sistema extensivo. Por lo tanto, la disponibilidad y calidad del forraje son

factores fundamentales para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales. Sin embargo, en los últimos años, los agostaderos han experimentado un deterioro de la cobertura y composición de las especies vegetales, esto debido a la disminución e irregularidad de las precipitaciones (Jurado *et al*., 2021).

Déficit hídrico y disponibilidad de forraje en los agostaderos

México es uno de los países que ha enfrentado periodos recurrentes de sequía, los cuales han afectado la productividad de los agostaderos y el establecimiento de estas especies de pastos. La disponibilidad de humedad en el suelo es un factor fundamental para la germinación, establecimiento y crecimiento de las plantas, por lo cual las condiciones del déficit hídrico pueden limitar el desarrollo de las plántulas de los pastos (Sierra *et al*., 2014). Esta situación representa un mayor desafío en las regiones áridas y semiáridas, donde las precipitaciones son escasas. Por ello, es necesario implementar un manejo agronómico adecuado del suelo que permita aprovechar de manera eficiente las precipitaciones que se presentan y así favorecer una mayor infiltración y disponibilidad de agua para las plantas (Velázquez *et al*., 2015).

Estas especies forrajeras se distribuyen en una franja que se extiende desde Sonora hasta Guanajuato (Figura1). Sin embargo, estos ecosistemas han reducido aproximadamente un 14 % en su superficie en los últimos 50 años, debido a lo ya mencionado anteriormente agregando también las actividades agrícolas (SEMARNAT, 2016).

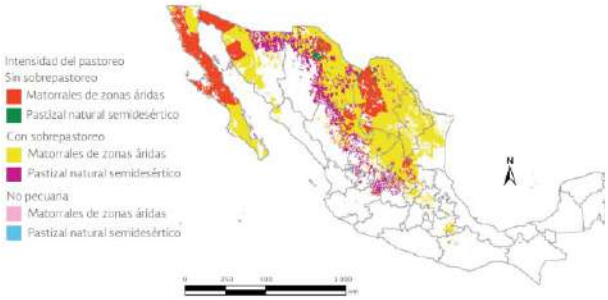


Figura 1. Distribución de especies forrajeras en México (SEMARNAT, 2016)

Importancia de los análisis bromatológicos en especies forrajeras

La sequía no solo puede afectar la germinación y el crecimiento de las especies de pastos, sino también el valor nutritivo del forraje producido (INIFAP, 2024). Por eso, los análisis bromatológicos constituyen una herramienta importante para determinar la composición química y evaluar la calidad nutricional de los pastos destinados para la alimentación animal. Entre los principales parámetros que pueden determinarse se encuentran la proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), humedad, cenizas, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente acidó (FDA) y lignina, entre otros (García *et al*., 2023).

Materiales y Métodos

El experimento principal se estableció en el Laboratorio de Ciencias Naturales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FA-UANL), con el propósito de obtener material vegetal de las especies Buffel (*Cenchrus ciliaris*) y Barbón bicolor (P*appophorum bicolor*) para la realización de análisis bromatológicos. Por ello, se realizó una siembra en vasos de unicel de 14 onzas, se les agregó suelo recolectado de agostaderos de la FA-UANL,

Unidad Académica Marín. En cada vaso se sembraron 10 semillas de cada especie, y se establecieron tres tratamientos de humedad del suelo, con cinco repeticiones por tratamiento: T1: 25 a 30 %; T2: 18 a 22 %; y T3: 30 a 45 %. Los vasos fueron colocados aleatoriamente al interior de una cámara bioclimática con una temperatura de 25 °C y un fotoperiodo de 12 h luz, 12 h oscuridad, por un periodo de 30 días. El porcentaje de humedad se monitoreó diariamente con ayuda de un hidrómetro.

Sin embargo, debido a que la producción de biomasa vegetal obtenida de este experimento fue insuficiente para determinar los análisis bromatológicos previstos y solo se determinó la proteína cruda, se optó por recolectar material vegetal directamente en el agostadero del polígono B, que se encuentra a 25°53'31.62" de latitud norte, 100°02'30.76" de longitud oeste y a una altitud de 375 msnm (Google Earth, 2026). Durante el mes de agosto 2026. Esta recolección permitió complementar los análisis bromatológicos.

La recolección del material vegetal de ambas especies, Buffel y Barbón bicolor, se realizó en el mismo sitio del agostadero, el cual tenía al menos un mes sin precipitaciones. Para cada especie, se seleccionaron los puntos con mayor disponibilidad de material vegetal y se obtuvieron tres repeticiones. Los pastos presentaban en etapa de rebrote a una altura aproximada de 45 cm al momento de la recolección. Posteriormente, las muestras se utilizaron para continuar con la caracterización bromatológica.

Los análisis bromatológicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA), perteneciente a la Universidad Juarez del Estado de Durango (UJED).

Una vez recolectadas, las muestras vegetales se almacenaron en bolsas de papel Kraft para su posterior procesamiento y análisis bromatológico.

Las muestras de las especies forrajeras fueron deshidratadas en una estufa a 60 °C durante 24 h y, posteriormente, molidas con ayuda de un molino para los análisis bromatológicos. Se realizó un análisis químico proximal que incluye la determinación del contenido de humedad (H), cenizas (CEN), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC) y extracto de nitrógeno (ELN).

El contenido de humedad de realizó mediante el secado de las muestras en crisoles a 105 °C durante 24 h. Por su parte, el contenido de cenizas se obtuvo mediante la incineración de las muestras en una mufla a 600 °C durante 4 h. La proteína cruda se determinó mediante el método Kjeldahl, de acuerdo con AOAC (1990), mientras que el extracto etéreo se cuantificó mediante extracción con un equipo Soxhlet. La Fibra cruda se determinó de acuerdo con el método de Weende. El extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó por diferencia, mediante la siguiente ecuación:

$$ELN\ (\%) = 100 - PC - EE - FC - CEN$$

Donde: ELN = Extracto libre de nitrógeno, PC = a proteína cruda, EE = Extracto etéreo, FC = Fibra cruda y CEN = Cenizas.

A continuación, se determinaron las fracciones de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente acido (FDA) y lignina (L) de acuerdo con el procedimiento de ANKOM (2005), utilizando bolsas de filtración ANKOM F57. El contenido de hemicelulosa (HE) se calculó por diferencia entre la FDN y la FDA mediante la siguiente ecuación:

$$HE\ (\%) = FDN - FDA$$

Donde: HE = Hemicelulosa, FDN = Fibra en detergente neutro y FDA = Fibra en detergente ácido.

Finalmente, se calcularon el valor relativo del forraje (VRF) y la calidad relativa del forraje (CRF), indicadores que permiten caracterizar el material forrajero y estimar su posible aprovechamiento por los animales. Ambos índices se determinaron mediante las ecuaciones propuestas por Moore y Undersander (2002):

$$VRF = \frac{(CMS)(MSD)}{1.29}$$

$$CMS = \frac{120}{d\%\ FDN}$$

$$MSD = 88.9 - [(0.779)(\%\ FDA)]$$

$$CRF = \frac{(CMS)(TND)}{1.23}$$

Donde: VRF= valor relativo de forraje, CMS= consumo de materia seca, MSD= materia seca digestible, FDN= fibra en detergente neutro, FDA= fibra en detergente ácido, CRF= calidad relativa del forraje y TND= total de nutrientes digestibles.

Los datos obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico SPSS versión 21. Se aplicó un análisis de varianza ($p \leq 0.05$) y comparación múltiple de medias de Tukey.

Resultados y Discusión

Para los análisis de proteína cruda (PC) determinada en materia seca de pastos desarrollados en laboratorio, Buffel presentó el valor más alto en el T2 (6.15 %), seguido de T1 (6.03 %), mientras que T3 presentó el valor más bajo (5.23 %). Por su parte Barbón bicolor registró valores de 8.37 % en T1, 8.59 % en T2 y 10.24 % en T3 siendo el valor más alto. No obstante, en ninguna de las dos especies se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p<0.05$) como se observa en la Figura 2.

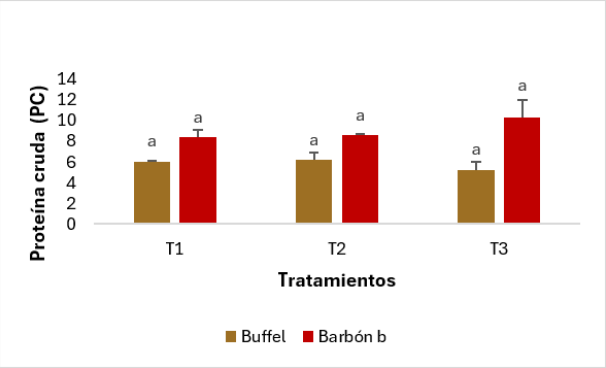


Figura 2. Contenido de proteína cruda (%) en los pastos Buffel y Barbón bicolor bajo tratamientos de porcentajes de humedad, T1: 25-30 %, T2: 18-22 % y T3: 30-45 %. Las barras representan la media ± desviación estándar. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada especie ($p \leq 0.05$).

Para el análisis bromatológico de buffel y barbón bicolor colectados en campo, expresado en materia seca, se encontraron

diferencias significativas entre especies ($p<0.05$) para las variables: proteína cruda (PC), cenizas (CEN), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina y valor relativo del forraje (VRF). Como se muestra en la Figura 3, barbón bicolor presentó los mayores índices de PC (7.73), mientras que buffel registró el mayor contenido de CEN (11.34 %). Por su parte, barbón bicolor presentó un contenido de cenizas de 6.53 %, mientras que buffel registró 5.05% de PC.

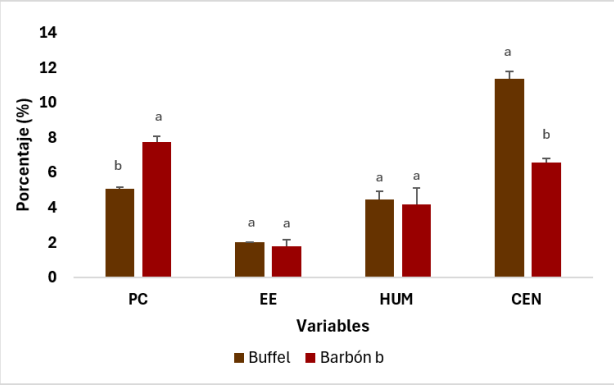


Figura 3. Comparación de contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), humedad (HUM) y cenizas (CEN) en buffel y barbón bicolor. Las barras representan la media ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada especie ($p \leq 0.05$).

En cuanto a los componentes fibrosos, cuyos valores se presentan en la Figura 4, barbón bicolor presentó los mayores contenidos de FDN (79.13 %) y FDA (64.39 %), en comparación con buffel, que registró valores de 73.10 % y 51.37 %, respectivamente. Asimismo, para el contenido de lignina, presentado en la Figura 5, barbón bicolor obtuvo el mayor valor (13.55 %), mientras que buffel presentó 8.47 %.

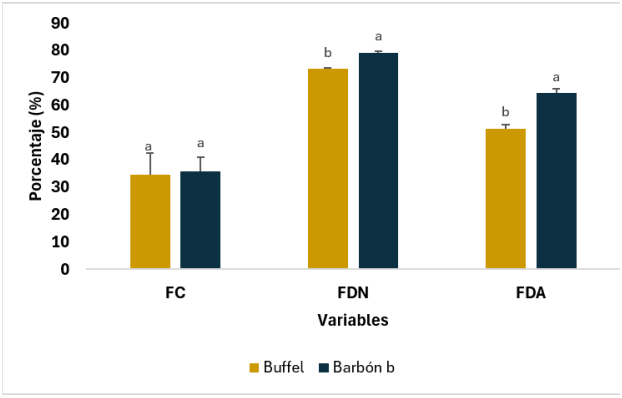


Figura 4. Comparación del contenido de fibra cruda (FC), fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en buffel y barbón bicolor. Las barras representan la media ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada especie ($p \leq 0.05$).

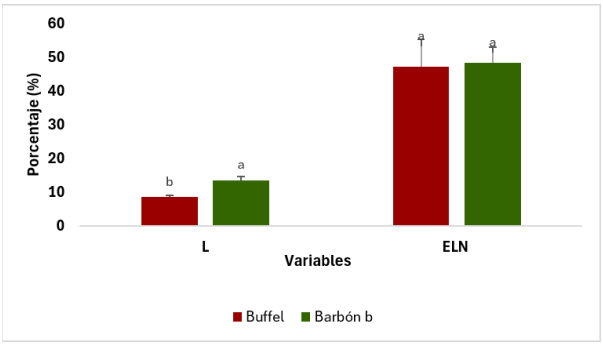


Figura 5. Comparación de contenido de lignina (L) y extractos libres de nitrógeno (ELN) en buffel y barbón bicolor. Las barras representan la media ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada especie ($p \leq 0.05$).

El valor relativo del forraje se muestra en la Figura 6, donde Buffel obtuvo un valor superior (62.20) al de Barbón bicolor (45.53). Las variables extracto etéreo (EE), humedad (HUM), fibra cruda (FC), extractos libres de nitrógeno (ELN) y capacidad relativa del forraje (CRF) no presentaron diferencias significativas entre especies ($p<0.05$). En la Figura 3, se muestran los valores de EE y HUM, que para barbón bicolor y buffel fueron de 1.77 y 1.99 % para EE, y de 4.16 y 4.43 % para HUM.

En la Figura 4 se presentan los valores de FC, con 35.65 % para barbón bicolor y 34.42 % para buffel. Por su parte, los valores de ELN se muestran en la Figura 5, con 48.30 % para barbón bicolor y 47.18 % para buffel. Finalmente, la Figura 6 presenta los índices de CRF, que fueron de 74.70 para barbón bicolor y 76.15 para buffel.

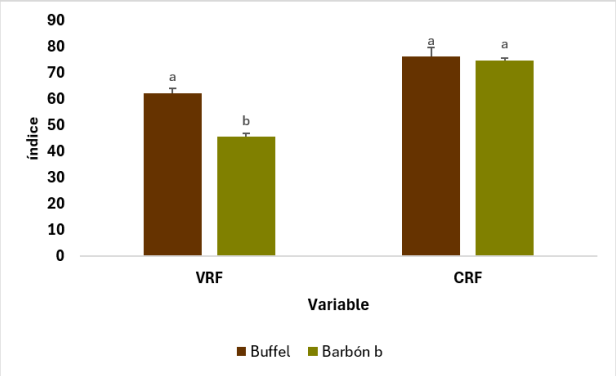


Figura 6. Comparación del valor relativo del forraje (VRF) y la capacidad relativa del forraje (CRF) en buffel y barbón bicolor. Las barras representan la media ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada especie ($p \leq 0.05$).

De acuerdo con Rojas *et al*. (2026), quienes analizaron el pasto camello durante la época seca, se reportaron valores de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de 68.1 y 37.1 %, respectivamente, los cuales fueron menores a los obtenidos en el presente estudio.

Por otra parte, el estudio de Sellan *et al*. (2016) realizado en *Panicum máximum* durante la época seca, presentó resultados mayores a los de esta investigación en los parámetros de cenizas (CEN), extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC), con valores de 9.92, 2.08 y 10.34 %, respectivamente. Sin embargo, estas diferencias no solo dependen de la época seca, si no también pueden influir otros factores, características propias de cada especie, las condiciones ambientales o el estado de madurez de la planta.

Hablando específicamente del contenido de proteína y fibra cruda, cuando existe una alta concentración de fibra en el pasto, puede presentarse una menor concentración de proteína, con valores inferiores al 7 %, lo que podría relacionarse con una menor eficiencia en el aprovechamiento de los carbohidratos de los pastos por parte de la microflora ruminal, ocasionando una reducción en la digestibilidad y el consumo voluntario del pasto, y limitando la productividad animal (Ledea *et al*., 2018).

Respecto al valor relativo de forraje (VRF), indicador utilizado para estimar la calidad del material vegetal, es decir, su capacidad para ser consumido y digerido por las diferentes especies de ganado, Ochoa *et al*. 2025) reportaron índices de 78 para el pasto banderita y de 62 para el pasto lobero, en un estudio realizado en zonas áridas, valores similares para Buffel e inferior para Barbón.

Los índices de VRF mayores a 150 corresponden a pastos de alta calidad, de 125-150, a favorable calidad, de 103-124, a mediana calidad, de 87-102 aceptable calidad e inferiores de 87, deficiente en calidad (Ochoa *et al*., 2025).

Conclusiones

La caracterización bromatológica de las especies forrajeras Buffel y Barbón bicolor permitió identificar su composición

nutricional bajo las condiciones de un periodo de ausencia de precipitaciones. Ambas especies presentaron características que pueden influir en su aprovechamiento como recurso forrajero. Sin embargo, buffel destaco por presentar menores contenidos de fibra detergente neutro y ácido y lignina, así como mayor valor relativo de forraje, mientras que la especie de barbón bicolor registró mayor contenido de proteína cruda. Estos resultados nos muestran que ambas especies poseen características nutricionales que deben considerarse para su aprovechamiento en sistemas ganaderos del noreste de México.

Agradecimientos

Agradecemos al personal académico y administrativo de la Facultad de Agronomía y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo de manutención otorgada mediante la beca No. 2047365.

Al Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA), perteneciente a la Universidad Juarez del Estado de Durango (UJED) por las facilidades brindadas y el apoyo técnico durante mi estancia, las cuales hicieron posible la realización de los análisis bromatológicos de las muestras vegetales utilizadas en esta investigación.

Referencias Bibliográficas

ANKOM. (2005). Acid detergent fiber in feeds filter bag technique (ANKOM2000). Macedon, US: Ankom Technology Method. http://www.ssco.com.tw/Ankom/PDF_file/ADF%20Method%20A2000.pdf.

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis (15ª. ed.). Washington DC, US: Association of Official Analytical Chemists.

García-Cervantes, D., Gutiérrez-Bañuelos, H., Reveles-Torres, L. R., Muro-Reyes, A., Gutiérrez-Piña, F. J., Echavarría Chairez, F. G., ... & Sánchez Gutiérrez, R. A. (2023). Perfil bromatológico y nutricional de *Dalea bicolor* (Willdenow) en regiones semiáridas de Zacatecas, México. Revista fitotecnia mexicana, 46(3), 321-325.

GoogleEarth2026.com https://earth.google.com/web/search/presas+las+gemelas+FA+MARIN/@25.89221059,-100.04245758,374.0861925a,217.99688561d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCcRuAUpN4zlAEewi5F_L3zlAGXDpXZEDAlnAIZbK6ZYkBFnAQgIIATIpCicKJQohMUhsRHNpM2FxYW00dWFLcEkzZVc1OGlYdU9PWU5FQ0NuIAE6AwoBMEICCABKCAjHj5i-BhAB

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2024). Digestibilidad de mezclas de forrajes de avena-triticale ensilados con enzimas fibrolíticas e inoculantes. Gobierno de México.

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., ... & Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México:

Estatus actual, retos y perspectivas. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 12, 261-285.

Ledea-Rodríguez, J. L., Verdecia-Acosta, D., Orestes, L. O., Ray-Ramírez, J. V., Reyes-Pérez, J. J., & Murillo-Amador, B. (2018). Caracterización química de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. Agronomía Mesoamericana, 29(3), 655-672.

Moore, J. E., & Undersander, D. J. (2002). Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. En 13th Florida Ruminant Nutrition Symposium. Llevado a cabo por la University of Florida, Gainesville, Florida.

Ochoa-Lechuga, J. E., Garay-Martínez, J. R., Ramírez-Segura, E., Lucio-Ruíz, F., Poot-Poot, W. A., Vázquez-Rocha, L., & Joaquín-Cancino, S. (2025). Atributos forrajeros y características estomáticas de tres pastos nativos en un bosque de pino en clima semiárido. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 41(3), 545-556.

Rojas-García, A. R., Cuadros-Contreras, D., de los Ángeles Maldonado-Peralta, M., Delgado-Nuñez, E. J., Aniano-Aguirre, H., & Maldonado-Peralta, R. (2026). Rendimiento, elongación foliar y análisis bromatológico del pasto Camello en época de lluvia y seca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 17(5), e4154-e4154.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Ecosistemas terrestres. En Informe de la situación del medio ambiente en México 2015. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap2_Ecosistemas.pdf

Sellan Vaca, J. P. (2016). Evaluación de la producción forrajera y análisis bromatológico de dos variedades mejoradas de *Panicum maximun* sometidas a varios intervalos de corte en la época seca (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2016).

Sierra TJS, Ramírez GH, Gutiérrez RE. Paquete tecnológico para la siembra de pastos en los agostaderos de Chihuahua. (2014). INIFAP-CIRNOC Sitio Experimental La Campana. (Folleto Técnico No. 50).

Velázquez MM, Hernández GFJ, Cervantes BJF, Gámez VHG. Establecimiento de pastos nativos e introducidos en zonas semiáridas de México. (2015). INIFAP-CIRNE Campo Experimental San Luis. (Folleto para Productores No. 66).