Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

SOCIEDAD MEXICANA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA



Autoridades educativas del TecNM/Instituto Tecnológico de Roque en 2026

Director	Raúl René Robles Lacayo
Subdirector de planeación	Alejandro Guerrero Barrón
Subdirector Académico	Wendy Mondragón Moreno
Subdirector Administrativo	Fernando Germán Flores Guillen
Jefe del Departamento de Posgrado e Investigación	Juan Gabriel Ramírez Pimentel
Jefe del Departamento Ciencias Agropecuarias	Ricardo Yañez López
Jefe del Departamento del Centro de Computo	Ruth Adriana Muñiz Camacho
Jefe del Departamento de Recursos Financieros	Graciela Rodríguez Rodríguez
Jefe del Departamento de Recursos Materiales	Rodrígo Ramírez Rodríguez
Jefe del Departamento de Producción	Hugo Armando Pérez Ramírez
Jefe del Departamento de Recursos Humanos	Héctor Alonso Pérez Ramírez
Centro de computo	Saúl Armando Cerca Vázquez
Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación	José Gabriel Mendoza Mancilla
Departamento de Comunicación y Difusión	Tamara Molina Grimaldo

Mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (SOMECTA)

Presidente de la SOMECTA	García Rodríguez J. Guadalupe
Vicepresidente	Cervantes Ortíz Francisco
Secretario	Chablé Moreno Francisco
Tesorera	Alvarado García Dulce María
Secretario técnico	Covarrubias Prieto Jorge
Secretario de eventos nacionales e internacionales	Raya Pérez Juan Carlos
Primer vocal	Ramírez Pimentel Juan Gabriel
Segundo vocal	Aguirre Mancilla César Leobardo

Socios integrantes fundadores desde 2012 hasta el 2025 de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria del Tecnológico Nacional e México/Instituto Tecnológico de Roque.

Aguirre Mancilla César Leobardo	Mendoza Elos Mariano
Alvarado Bárcenas Estéfana	Morán Vázquez Nicolás
Alvarado García Dulce María	Mondragón Moreno Wendy
Andrio Enriquez Enrique	Ortega González Manuel
Covarrubias Prieto Jorge	Raya Pérez Juan Carlos
Chablé Moreno Francisco	Rangel Lucio José Antonio
Cervantes Ortíz Francisco	Ramírez Pimentel Juan Gabriel
Frías Pizano Jesús	Rivera Reyes J. Guadalupe
Gallardo Rodríguez María Eugenia	Vázquez Ángeles Jacinto
García Rodríguez J. Guadalupe	Cortéz Baheza Elvira†
Lara Lozoya Ereida	Ponce de León Francisco Eduardo†

Integrantes de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria en el período de septiembre de 2022 a septiembre 2026

Aguirre Mancilla César Leobardo	Guzmán Zazueta Alejandro
Alvarado Bárcenas Estéfana	López Ramírez Blanca Cecilia
Alvarado García Dulce María	Mendoza Elos Mariano
Andrio Enriquez Enrique	Mondragón Moreno Wendy
Covarrubias Prieto Jorge	Pérez Mendoza Davino
Chablé Moreno Francisco	Raya Pérez Juan Carlos
Cervantes Ortíz Francisco	Ramírez Pimentel Juan Gabriel
Cisneros López Hugo César	Rivera Serrano María de Lourdes
Frías Pizano Jesús	Rodríguez Mercado Daniel
Flores Gómez Carlos Alberto	Rodríguez Sandoval Jorge Abraham
Gallardo Rodríguez María Eugenia	Ochoa Galaz Silvano
García Cruz Salvador	Ortega González Manuel
García Rodríguez J. Guadalupe	Yañez López Ricardo
García Gutiérrez Sergio Arturo	Vázquez Huerta Ma de los Ángeles
Gutiérrez Benicio Glenda Margarita	

Comité editorial

Editor en jefe: Juan Carlos Raya Pérez

Acosta Gallegos Jorge Alberto	Guevara Acevedo Luís Patricio
Aguirre Mancilla César Leobardo	Hernández Navarro Carolina
Alvarado Bárcenas Estefana	Licea Rojas Lorenzo
Andrio Enriquez Enrique	Mondragón Moreno Wendy
Argentel Martínez Leandris	Pérez Mendoza Davino

Ávila Perches Miguel Ángel	Preciado Ortíz Ricardo Ernesto
Carballo Carballo Aquiles	Ramírez Pimentel Juan Gabriel
Cervantes Ortíz Francisco	Rangel Lucio José Antonio
Cisneros López Hugo César	Rodríguez Rodríguez Francisco
Córdova Téllez Leobigildo	Rodríguez Guerra Raúl
Covarrubias Prieto Jorge	Rodríguez Herrera Raúl
Chablé Moreno Francisco	Rodríguez Mercado Daniel
Frías Pizano Jesús	Rodríguez Pérez Gilberto
Gámez Vázquez Alfredo Josué	Rivera Serrano Ma de Lourdes
García Rodríguez J. Guadalupe	Santacruz Varela Amalio
García Gutiérrez Sergio Arturo	Santamaría González Sarahyt
González Castillo Fernando	Tapia Naranjo Alfredo
González Dorantes José Roberto Augusto	Yañez López Ricardo
Gutiérrez Benicio Glenda Margarita	

Coordinadores generales

Alvarado García Dulce María	Gallardo Rodríguez María Eugenia
Alvarado Bárcenas Estéfana	Guevara Páramo Ma Guadalupe
Cervantes Ortíz Francisco	Licea Rojas Lorenzo
Cisneros López Hugo César	Ortega González Manuel
Chablé Moreno Francisco	Rodríguez Mercado Daniel
Frías Pizano Jesús	Rivera Serrano Ma Lourdes
García Rodríguez J. Guadalupe	Yañez López Ricardo
García Gutiérrez Sergio Arturo	

Coordinador de los Conferencistas: Francisco Cervantes Ortíz y J. Guadalupe García Rodríguez

Gaspar Martínez Felipe de Jesús	Rodríguez Mercado Daniel
Joaquín Cuarenta Jesús David	Toledo Ocampo Aritzel
Jiménez Muñoz Ledo Josefina	Yañez López Ricardo

Coordinador del soporte técnico y plataforma del Congreso SOMECTA

García Gutiérrez Sergio Arturo	Andrade González Aurora G.
Rodríguez Sandoval Jorge Abraham	Cerca Vázquez Saúl Armando
Márquez Tovar Francisco Manuel	Cesáreo Hernández Alfaro
Chavez Lara Daniel	Lara Vega Roberto

Moderadores y evaluadores de las exposiciones orales Coordinador general (es):

Francisco Cervantes Ortiz y J. Guadalupe García Rodríguez

Banda Ruíz Victor Manuel	Mondragón Moreno Wendy
Barrera Vargas Fabiola	Perches Ávila Miguel Ángel

Cupul Moreno Laura	Pérez Mendoza Davino
Cisneros López Hugo César	Rivera Cortés Berenice
Fuentes Gallardo Claudia Marilu	Reyes Fuentes Mabiel
García Gutiérrez Sergio Arturo	Rodríguez Mercado Daniel
Gámez Vázquez Josue Alfredo	Rodríguez García María Victoria
Gallardo Rodríguez María Eugenia	Rodríguez Segura Erick Fabián
Gaspar Martínez Felipe de Jesús	Rodríguez Rodríguez José Francisco
González-Figueroa Sarahyt S	Rodríguez Sandoval Jorge Abraham
Gutiérrez Loyola María Cristina	Sierra Celedón Jacquelin
Jeronimo Arriaga Manuel	Toledo Ocampo Aritzel

Evaluadores de la Sesión de carteles

Coordinador (a) general: María de Lourdes Rivera Serrano, María Victoria Rodríguez García, Paulino Vega Rodríguez, Rodrigo Ramírez Rodríguez y Francisco Chablé Moreno

Abrego García Amaury	León Arreguín Eva Lizbeth
Aguilar Pérez César	Licea Rojas Lorenzo
Alvarado Bárcenas Estéfana	Licea Morales Pablo Jesús
Banda Ruíz Víctor Manuel	Ledezma Ramírez Lourdes
Balderas Cano Héctor Juan	Martínez Gaspar Felipe de Jesús
Bobadilla Meléndez Mirna	Martínez Lara Maricruz
Buenavista Jaralillo Juan Carlos	Pérez Mendoza Davino
Cañada Coyote Erika	Paredes Uribe Rubén
Durán Hernández Nabor	Puga Ayala Ramíro
Flores Gómez Carlos Alberto	Ramírez Rodríguez Rodrigo
Flores López Alicia	Ramírez Pimentel Juan Gabriel
Franco Vadillo Elisa	Reyes Fuentes Mabiel
Frías Pizano Jesús	Rivera Cortez Berenice
Gamez Vázques Alfredo Josue	Rivera Cortez Roberto Carlos
Gamez Vázques Francisco Paul	Rivera Serrano María de Lourdes
García Chávez Víctor Hugo	Rodríguez Sandoval Jorge Abraham
García Gutierrez Sergio Arturo	Rodríguez García María Victoria
González Orozco Tomás Arturo	Rodríguez Mercado Daniel
Gómez Jiménez Miguel	Rodríguez Muñoz Georgina Ivvete
Gómez Espinoza José	Rodríguez Rodríguez José Francisco
Gutiérrez Benicio Glenda Margarita	Ruíz Escobar José Eduardo
Guevara Acevedo Luís Patricio	Toledo Ocampo Aritzel
Gutiérrez Loyola María Cristina	Vega Rodríguez Paulino
González Figueroa Sarahyt Santamaría	Villegas García Guadalupe
Hernández Caldero Rocío E.	Yañez López Ricardo
Jiménez Munóz Ledo Josefina	

Grupo Staff del desarrollo logístico del evento Coordinador general:

Daniel Rodríguez Mercado

Alvarado García Dulce María	Ortega González Manuel
Gallardo Rodríguez María Eugenia	Rivera Cortes Berenice
Hernández Navarro Carolina	Rodríguez García María Victoria
Huitzache Flores Andrea Guadalupe	Rodríguez Mercado Daniel
Jiménez Muñoz Ledo Josefina	Ruíz Escobar Eduardo
Jiménez Vázquez Pedro	Tierrablanca Centeno Jesús Emmanuel
López Noyola José Antonio	Uvalle Muñiz Carlos Manuel
Montoya Vera Ximena	Vargas González Victor Manuel
Ortega León Jesús Alberto	

La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria
TECNOLOGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Roque

XIII CONGRESO NACIONAL Y IX SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

"Cien años de historia en educación, ciencia, tecnología e innovación agroalimentaria"

Programa general: Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque Centro Nacional de Innovación Educativa y Desarrollo Docente del TecNM

25 al 29 de mayo de 2026
Roque, Celaya, Guanajuato

Lunes 25 de mayo 2026		Lugar: Centro de Innovación Tecnológica	
8:00 – 9:00		Registro	Mesa de recepción
9:00-9:30	Bienvenida	Congreso de la SOMECTA: Dr. J. Guadalupe García Rodríguez Presidente de la SOMECTA	
9:30-10:15	CONFERENCIA MAGISTRAL La biotecnología y los suelos en la producción agrícola Dr. Miguel Ángel Segura Castruita (Docente-Investigador del Instituto Tecnológico de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco)		Hugo César Cisneros López Felipe de Jesús Gaspar Martínez
10:20-14:00	25 y 26 de Mayo	Lugar	
	Coordinador general de los talleres		Jesús Frías Pizano Carlos Alberto Flores Gómez
Taller 1	Biología molecular básica Dra. Glenda Margarita Gutiérrez Benicio (Docente-Investigadora del Tecnológico de Roque), Laboratorio de citogenética	Laboratorio	Coordinador de taller Maricruz Lara Martínez
Taller 2	Análisis e interpretación física y química de suelos agrícolas (Dr. Miguel Ángel Segura Castruita (Docente-Investigador, Instituto Tecnológico de Tlajumulco de Zúñiga, Jalisco)	Laboratorio de suelos	Coordinador de taller Francisco Rendón Reyes José Antonio Rangel Lucio Davino Pérez Mendoza
Taller 3	Uso de drones en la agricultura M.C. Luís Ramón Sánchez Rico (Docente-Investigador del Tecnológico de Roque) Ing. Juan Alberto Zúñiga Pérez (Instructor independiente de tecnología en drones)	Salón biblioteca y terrenos experimentales de investigación	Coordinador de taller Jorge Abraham Rodríguez Sandoval

Taller 4	Producción intensiva de tomate bajo invernadero de alta tecnología Ing. José Guillermo Rojas Ibarra (Grower en tomate en Invernadero) Ph.D. Heriberto Godoy Hernández Investigador-Independiente egresado de Universidad de Massachusetts Amherst (EE. UU.)	Sala de posgrado (25 de mayo) (26 de mayo)	Coordinador de taller Juan Carlos Buenavista Jaralillo Pablo Jesús Licea Morales
Taller 5	Interpretación de análisis de resultados de experimentos Dr. Alfredo Josué Gámez Vázquez (Docente-Investigador del TecNM-Roque, INIFAP, Celaya, Guanajuato). Dr. José Gómez Espinosa Docente-Investigador del TecNM-Roque	Salón múltiple de Ciencias Agropecuarias	Coordinador de taller Sergio Arturo García Gutiérrez
Taller 6	Métodos convencionales para el diagnóstico fitosanitario de semillas Dra. Talina Olivia Martínez Martínez M.C. Brenda Zulema Guerrero Aguilar	Laboratorio de posgrado y/o Área de siembra aséptica CTV	Coordinador de taller Jacqueline Sierra Celedón Mabiel Reyes Fuentes
Taller 7	Producción de hongos comestibles M.C. Miguel Gómez Jiménez Dra. Susana Acosta Navarrete Docente-Investigador del TecNM-Roque	Salón y módulo de la biblioteca y módulo de hongos	Coordinador de taller María Victoria Rodríguez García Erika Coyote Cañada
Taller 8	Calibración de Equipo y aplicación de bioquímicos y orgánicos en cultivos vegetales Ing. Lisset Zavala Corona Coordinadora de proyecto en el buen uso y manejo de plaguicidas Ing. Agustín Adrián Ortíz Coordinador del proyecto Manejo fitosanitario en agricultura protegida	Sala de juntas del Departamento de Ciencias Agropecuarias	Coordinador de taller Paulino Vega Rodríguez

Martes 26 de mayo	Lugar: Centro de Innovación Tecnológica	
09:00-9:45	CONFERENCIA MAGISTRAL Estrategias para el control y erradicación de brucelosis en un hato bovino MVZ Víctor Manuel Banda Ruíz (Docente-Investigador del Tecnológico de Roque)	Presentador del ponente Aritzel Toledo Campos

Miércoles 27 de mayo	Lugar: Centro de Innovación Tecnológica	
8:00 – 9:00	Registro e inscripción	Mesa de recepción
Inauguración: Maestro de ceremonia: Tamara Molina Grimaldo, Juan Gabriel Ramírez Pimentel		
8:30 – 9:30	Inauguración	
	Participación de la banda de guerra y escolta de la Institución	
	Presentación del Presidium Inauguración del XIII Congreso Nacional y IX Simposio Internacional de la SOMECTA 2026	
9:30 - 10:10	CONFERENCIA MAGISTRAL Innovación y transición tecnológica en la agricultura latinoamericana: El caso de los bioinsumos Dr. Frederic Goulet Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el desarrollo (CIRAD) Francia Visiting Scientist en CIMMYT, México	Presentador del ponente Ricardo Yáñez López
10:10-10:50	De la innovación a la adopción socioeconómica en CIMMYT Dr. Michael Euler Economista de recursos Agrícolas CIMMYT	Presentador del ponente Daniel Rodríguez Mercado
14:00-16:00	Comida de bienvenida (todos)	
16:00-19:00	Recorrido de carteles (exposición)	Inicio de instalación de carteles desde 27 de mayo desde las 9:00 AM (evaluación miércoles 27 de 16:00 a 17:00 horas)
Jueves 28 de mayo	Lugar: Centro de innovación tecnológica	
8:00 – 9:00	Registro e inscripción	Mesa de recepción
09:00-9:40	CONFERENCIA MAGISTRAL Modelación hidrológica de escurrimientos superficiales en la cuenca del rio turbio, Guanajuato, México Dr. Gregorio Vargas Castañeda	Presentador del ponente Jesús David Joaquín Cuarenta
Viernes 29 de mayo		
8:00 – 9:00	Registro e inscripción	Mesa de recepción
09:00-9:40	COFERENCIA MAGISTRAL Sembrando el mañana: Liderazgo y transformaciones en los agrónomos de hoy	Presentador del ponente Josefina Jiménez Muñoz Ledo

	Dra. Aurora Geraldine Andrade González	
9:50 a 10:20	Tecnología de monitoreo vegetal: Drones y teledetección en la agricultura moderna M.C. Luís Miguel Arredondo Becerra	Presentador del ponente Jorge Abraham Rodríguez Sandoval
12:00-13:00	CLAUSURA (Centro de Innovación)	Socios y Mesa Directiva.

PRÓLOGO

XIII Congreso Nacional y 9° Simposio Internacional de Investigación de Ciencia y Tecnología Agropecuaria AC

En el marco del Centenario de la escuela de Roque

"Cien años de historia en educación, ciencia, tecnología e innovación agroalimentaria"

La Educación Tecnológica Agropecuaria en el Tecnológico de Roque desde el año 1926 hasta nuestros días, ha sido un referente en la educción agropecuaria, con sus diversos cambios en el desarrollo de la educación siempre al servicio de los hijos de campesinos de nuestro país; durante sus cien años de historia ha tenido diferentes cambios en el desarrollo de la educación agropecuaria: Central Agrícola de Guanajuato, Escuela Regional Campesina, Central Regional Campesina, Escuela Practica de Agrícola, Normal rural, Escuela Normal de Especialidades, Escuela Nacional de Maestros para la Capacitación del Trabajo Agropecuario, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuario, Instituto Superior de Educación Tecnológica Agropecuaria, Instituto Tecnológico Agropecuario No, 33, Instituto Tecnológico de Roque y actualmente Tecnológico Nacional de México – Roque, con la creación de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria; así mismo, un grupo de investigadores motivados el desarrollo de la ciencia y difundir los avances y resultados de las investigaciones realizadas en el posgrado de esta institución, promueven la formación de la "Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria A.C en el año dos mil doce. La cual es una comunidad académica interesada en contribuir con el desarrollo de la investigación, innovación tecnológica, la sustentabilidad del ambiente y los sistemas de producción agrícola, pecuario, forestal y la transformación de alimentos, organizó el Congreso Nacional y Simposio Internacional, mismo que se llevó a cabo del 25 al 29 de mayo de 2026, durante el Centenario de la "Escuela de Roque", Celaya Guanajuato; sede del evento. Se agradece a los investigadores de estados como: Aguascalientes, Chiapas, Ciudad de México, Coahuila, Colima, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz y destaca un participante internacional de Colombia.

Contando con la presencia de la Subdirectora Académica Wendy Mondragón Moreno dio la bienvenida a los invitados de honor, a los alumnos, investigadores participantes de los diferentes estados e Instituciones y al presídium, asimismo con la honrosa representación del Director General M.C. Ramón Jiménez López, resaltó a todos los presentes, sus mejores deseos a todos los participantes, que los objetivos planteados por la SOMECTA se alcancen de forma satisfactoria. El Presidente de la SOMECTA, el Dr. J. Guadalupe García Rodríguez mencionó sobre la trascendencia de la organización y de la amplia colaboración tanto de los organizadores y participantes cuyos investigadores presentaron diferentes disciplinas e instituciones nacionales e internacionales, planteó como objetivo general, dar a conocer los resultados de investigación y trasmitir las inquietudes a nuevos investigadores, de esta manera realizó un amplio agradecimiento por la participación de Instituciones e Investigadores, así como a los alumnos y al público en general por su valioso apoyo. Reafirmó que la ciencia y la tecnología son empleadas y constituyen un avance para la humanidad, pero sobre toto en beneficio de sociedad de México y del mundo. Los resultados para apoyar el campo mediante la innovación tecnológica son necesario para la autosuficiencia alimentaria, el desarrollo tecnológico como una herramienta para que México crezca y fortalecer la soberanía nacional.

En el marco del Centenario de la "Escuela de Roque", se agradece las presentación de ponencias magistrales de instituciones como; Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Instituto Tecnológico de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, Instituto Tecnológico de Roque, Universidad de Massachusetts Amherst (EE. UU.), Instituto Nacional de Investigación Agrícola Pecuaria y Forestal, Centro de

Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el desarrollo (CIRAD) Francia Visiting Scientist en CIMMYT en México, Investigadores independientes. Un sincero agradecimiento a todos los participantes a nivel nacional e internacional, quienes con su presencia dieron realce a este congreso en el marco del Centenario de esta casa de estudios, a todos que con su esfuerzo presentaron alternativas y resultados de su investigación para promover y mejorar la producción y fortalecer el aprovechamiento de todo el sistema agrícola, pecuario, industrial y las tecnologías modernas en apoyo a las áreas de investigación en pro del cuidado del medio ambiente y la protección de nuestros recursos naturales como es el caso de la semillas de una gran variedad de especies vegetales que existen a nivel nacional y que hoy en día sigue siendo el sustento de la agricultura a nivel nacional.

Inicio con talleres precongreso con las siguientes temáticas; Análisis e interpretación física y química de suelos agrícolas, Producción intensiva de tomate bajo invernadero de alta tecnología, Uso de drones en la agricultura, Biología molecular básica, Interpretación de análisis de resultados de experimentos, Métodos convencionales para el diagnóstico fitosanitario de semillas, Producción de hongos comestibles. La participación de los investigadores con la siguiente temática del congreso se desarrolló en tres grandes áreas: 1) Agrícola: Agricultura sustentable, Tecnología de la producción, 2) Mejoramiento genético, Biotecnología, Recursos genéticos y semillas; 3) Producción pecuaria, 4) Forestal, 5) Alimentos, 6) Tecnología de la información aplicada producción agroalimentaria, 7) Administrativa y 8) Docencia. Durante el congreso se presentaron 146 avances o resultados de las investigaciones, cada una de ellas realizadas en su lugar de origen de los investigadores; 48 carteles y 96 ponencias orales; participantes en el congreso de la SOMECTA 2026.

ÍNDICE DE RESÚMENES CORTOS

Título	Autores	Pág
Aceites esenciales como tratamiento a semilla de frijol para control de *Zabrotes subfasciatus* (Boh)	Diego A. Pérez Lucio; Sara C. Quintero Vallejo; José F. Rodríguez Rodríguez; Angélica M. López Ledesma; Francisco Cervantez Ortiz; Cristopher Andrade Rico	25
Alelopatía de extractos vegetales sobre el potencial germinativo de semilla de maleza	Zaira G. Rivera-Méndez; César L. Aguirre-Mancilla; Sarahyt S. González-Figueroa; Glenda M. Gutiérrez-Benicio; Oscar A. Grageda-Cabrera; Ana K. Campa-Rivera	26
Análisis de parámetros morfológicos en plántulas de cacao (T*heobroma cacao* L.) en respuesta al déficit hídrico	Sofía M Sepúlevda Soria; Gabriela González González; César L Aguirre Mancilla; Carlos H Avendaño Arrazate; Misael Bolaños Martínez; Juan G. Ramírez Pimentel; Glenda M Gutiérrez Benicio	27
Biofertilizantes rizobianos como estrategia integral para la sostenibilidad agrícola y la regeneración de suelos en México	Reiner Rincón Rosales; Clara Ivette Rincón Molina; Luis Alberto Manzano Gómez; y Francisco Alexander Rincón Molina	28
Capacitación para la producción de setas (*Pleurotus ostreatus*) (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. (1871) en maíz nativo (*Zea mays* L.): caso Tlaxiaco	Miguel Ángel Gómez-Jiménez; Diana Rubí Oropeza-Tosca; Karina González-Izquierdo; Reiner Rincón Rosales; María Susana Acosta Navarrete; Omar Jiménez-Márquez	29
Clorofila en líneas avanzadas de triticale (*Triticosecale wittmack*) en El Bajío	María del Rosario Rivera-Gaytan; Alma Angélica Silva-Amaro; Francisco Cervantes-Ortiz	30
Comportamiento del vigor y contenido de clorofila en maiz amarillo bajo dos fechas de siembra	Ana Karen Navarrete Muñoz; Francisco Cervantes-Ortiz; J. Guadalupe García-Rodríguez; Josué Paulino Rivera Muñoz; Miguel Ángel Ávila Perches; Alfredo Josué Gámez Vazquez; y Gilberto Rodríguez Pérez	31
Determinación de la actividad antifúngica *in vitro* de dos extractos vegetales frente a una variedad de hongos fitopatógenos	María F. Arriaga-Montero; Cesar L. Aguirre-Mancilla; Juan G. Ramírez-Pimentel; Glenda M. Gutiérrez-Benicio; Erika. Cañada-Coyote; Carlos A. Flores-Gómez	32
Efectividad biológica de indoxacarb con nanoparticulas de silicio en el control de *Plutella xylostella* L.	Juan F. Rodriguez Trejo; José F. Rodríguez Rodríguez; Osvaldo García Tirado; Ernesto Cerna Chávez; Beatriz García Rodríguez y Yisa M. Ochoa Fuentes	33
Efecto de la densidad de siembra de líneas avanzadas de Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) en El Bajío sobre características de planta y espiga	Juan David Ramírez Vázquez; Alma Angélica Silva-Amaro; Francisco Cervantes-Ortiz	34
Efecto de la densidad de siembra y fertilización orgánica en líneas avanzadas de triticale (*Triticosecale* wittmack), en El Bajío	Alma Angélica Silva-Amaro; Francisco Cervantes-Ortiz; Gilberto Rodríguez-Pérez; Mariano Mendoza-Elos; Ahuizotl de Jesús Joaquín-Ramos y César Leobardo Aguirre-Mancilla	35
Efecto de la dosis de potasio en rendimiento de grano y acumulación en el suelo (avances de investigación)	Juan Francisco Buenrostro Rodríguez; Simon Gerrit Fonteyne; Javier Z. Castellanos; Jesús Arévalo Zaarco; Miguel Peña Datoli; Amador Tranquilino Aguillón Aguillón; Ouorou Ganni Mariel Guera; Alfredo Josué Gámez Vasquez; Andres Mandujano Bueno y Enrique Reyes Becerra	36

Efecto de la fertilización orgánica en lineas avanzadas de triticales *Triticosecale wittmack*), en el rendimiento de grano y altura de planta en El Bajío	Daniel Hernández Garcia; Alma Angélica Silva-Amaro; Francisco Cervantes-Ortiz; Eva L. León-Arreguin	37
Efecto de microorganismos sobre la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.)	Cid Aguilar-Carpio; Yessica Flor Cervantes Adame; Adriana Pérez-Ramírez; José Alberto Salvador Escalante-Estrada	38
Eficiencia de cepas de *Trichoderma harzianum* en tomate cultivado en sustratos con distinta gravimetría	Georgina Ivette Rodríguez Muñoz; Juan G. Ramírez Pimentel; Erika Cañada Coyote; Cesar L. Aguirre Mancilla; Leandris Argentel Martínez; Mariano Mendoza Elos; Felipe de Jesús Martínez Gaspar	39
Elaboración técnica de bokashi fermentado para mejorar la fertilidad agrícola sustentable del suelo	Alvarado Pescador Maria Guadalupe; Franco Vadillo Elisa; Hernandez Pescador Paula Itzel; López Orozco Ma. de Lourdes y Flores Medina Josue Antonio	40
Emergencia y concentración de clorofila en genotipos de frijol	Sara C. Quintero Vallejo; Francisco Cervantes Ortiz; José F. Rodríguez Rodríguez; J. Guadalupe García Rodríguez; Diego M. Badillo García	41
Estandarización de un bioensayo con *Tenebrio molitor* para evaluar hongos entomopatógenos	Valeria Michel Mañon-Mozqueda; Brenda Zulema Guerrero-Aguilar, Jorge Covarrubias-Prieto; César Leobardo Aguirre-Mancilla	42
Evaluación de efectividad biológica de aceites esenciales como control del gorgojo de frijol	Angelica M. López Ledesma; José F. Rodríguez Rodríguez; Sara C. Quintero Vallejo; Diego A. Perez Lucio; Francisco Cervantez Ortiz; Christopher Andrade Rico	43
Evaluación de mutantes de chile jalapeño tolerantes a estrés hídrico en invernadero: efectos antioxidantes y fenoles totales	Luis Enrique Rivera-Alvarez; Felipe de Jesús Martínez-Gaspar; María Isela Flores-Reyes; Jorge Covarrubias-Prieto; César L. Aguirre-Mancilla	44
Evaluación del costo-beneficio del proceso de elaboración de lombricompostas provenientes de residuos domiciliarios, excretas de chivo y viruta	Suriel E. Flores Cruz, Manuel Huerta Lara, Omar Romero Arenas	45
Evaluación del deterioro en semillas de maíz criollo mediante envejecimiento acelerado	José de J. Godoy Fajardo; Eva L. León Arreguin; Francisco Chablé Moreno; Emmanuel Pichardo Jaime; J. G. García Rodríguez; Amalio Santacruz Vera	46
Evaluación del impacto de *Bacillus sp.*, en parámetros morfológicos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en estrés hidrico	Nancy Peña-Francisco; Cesar L Aguirre-Mancilla; Felipe de J Martínez-Gaspar; Jorge Covarrubias-Prieto; Gabriela González-González; Glenda M Gutiérrez-Benicio	47
Evaluación fenotípica temprana de genotipos de maíz de distinta base genética	Paola Gaytán Jiménez; Francisco Cervantes Ortíz; Diego M. Badillo García; José F. Rodríguez Rodríguez; J. Guadalupe García Rodríguez; Yuliana Martínez Bustamante	48
Evaluación fisiológica de clorofila y vigor vegetativo en híbridos simples de maíz blanco en V6 y V9	Josue Paulino Rivera Muñoz; Francisco Cervantes-Ortíz; Ana Karen Navarrete-Muñoz	49
Evaluación *in vitro* de Spinosad adicionado con nanopartículas de silicio para el control de la palomilla dorso de diamante	Beatríz García Rodríguez; José F. Rodríguez Rodríguez; Yisa M. Ochoa Fuentes; Claudia J. Tierrablanca León; Jazmín J. Velázquez Guerrero; Juan F. Rodríguez Trejo	50

Evaluación productiva y fisiológica de plantas de fresa suplementadas con iluminación LED	Martha J. Diosdado-Montenegro; María I. Laguna-Estrada; Ana E. Rangel-Castillo; Jesús Hernández-Ruiz; Yesica Rendon-Aquino; Jorge E. Ruiz-Nieto	51
Importancia del análisis de peligros y puntos críticos de control en producción protegida y almacenamiento poscosecha de *Solanum Lycopersicum*	Ma. Cristina Vázquez-Hernández; Francisco Javier Corona-García; Luis A. Noriega-González; Carlos A. Flores-Gómez; Ma. Maricela Caballero Palacio; Georgina del Carmen Mota-Valtierra	52
Sistema inteligente para el monitoreo de macronutrientes en suelo de cultivo de fresa	Ma. Cristina Vázquez-Hernández; Miguel A. Rojas-Hernández; Xóchilt Siordia-Vásquez; Silvia Barrios-Velázquez; Raúl Alberto Dávila Mar, Luis A. Noriega-González	53
Expansión y distribución del cultivo de pitahaya *(Hylocereus spp.)* en Guanajuato	Griselda Servín Ochoa; Carolina Hernández-Navarro; Estefana Alvarado Bárcenas; Jorge Covarrubias Prieto; Daniel Rodríguez Mercado; Raúl René Robles Lacayo	54
Potencial de *Chlorella vulgaris* para remover contaminantes de agua residual de estanques acuicolas	Carlos A. Flores-Melesio; Juan G. Ramírez-Pimentel; David A. Flores-Méndez, Luis A. Noriega-González y Carlos A. Flores-Gómez	55
Hidrogel superabsorbente para optimizar agua y nutrientes en suelos agrícolas	Javier Pérez-Inocencio; Miguel A. Aguilar-Mendez; Jorge A. Ramos-Frutos; Susana J. Santoyo-Murguia; Jorge Canela Gómez	56
Identificación de la fenología de (L*ilium spp.*) en la Universidad Tecnológica de la sierra sur de Oaxaca	Lucero J Garcia Cruz; Karla G Ruiz Quiroz; Misael Navarro Aparício; Daniel A Olivera Resendiz; Ibeth Cortes Angeles	57
Índice de desarrollo de semilla y embrión de *Opuntia ficus Indica*	Maricruz Roque-Aguirre; J. Gabriel Ramírez-Pimentel; Carolina Hernández-Navarro; Juan Carlos Raya-Pérez	58
Influencia del envejecimiento acelerado en la germinación y el vigor de semillas de maíz (*Zea mays* L.)	Emmanuel Pichardo Jaime; Eva L. León Arreguin; J. G. García Rodríguez; Francisco Cervantes Ortiz; José de J. Godoy Fajardo; José F. Rodríguez Rodríguez	59
Teoría humanista y su afectación a traves de las redes sociales (caso estudiantes IGE-Roque)	Luis Manuel Morales Carrillo; Citlali López Aldape; Danna Karen Salinas Cañada; Cristina Meza Juarez; Rodriguez Segura Erik Fabian	60
Las MIPYMES y su impacto en la certificación para los prestadores de servicios turísticos (caso Cabos - La Paz)	Paola Gallardo Rodríguez; Claudia Marilú Fuentes Gallardo; Laura Cupul Moreno; María Eugenia Gallardo Rodríguez; Wendy Mondragón Moreno; y Erik Fabián Rodríguez Segura	61
Transformando el agroalimento en experiencias: Demanda turística en municipios de San Bernardo y Arbeláez, Colombia	Astrid Magali López Pulido; Shelcy Valentina Martínez Pachón; María Cristina Velásquez Ardila	62
Análisis de los usos y costumbres de la generación z en el 2019-2020 y el marketing digital	Miriam Centeno Flores; Diana Yarett Zavala Soledad; Nestor Huitzache Alvarado	63
Nanopartículas de silicio su efecto en la efectividad biológica de cipermetrina para el control de *Plutella xylostela* L.	Osvaldo García Tirado; José F. Rodríguez Rodríguez; Ernesto Cerna Chávez; Juan F. Rodríguez Trejo; Rocio de J. Díaz Aguilar; Claudia J. Tierrablanca León	64
Porosidad del suelo y su relación con las emisiones agrícolas de N_2O	Víctor Manuel Montoya-Jasso; Jesús Manuel Arreola-Tostado	65

Producción de chile serrano en camas biointensivas para el abastecimiento de mercados gastronómicos locales	Flores Josue; Franco Elisa; Ma. De Lourdes López; Hernández Paula; Alvarado María; Salomón Alondra	66
Producción de cuatro híbridos de lilis (*Lilium spp*.) bajo estructura protegida en la universidad tecnológica de la sierra sur de Oaxaca	Lucero J García Cruz; Misael Navarro Aparício; Daniel A Olivera Resendiz; Ibeth Cortés Angeles	67
Profundidad de siembra en la calidad fisiológica de semilla de maíz en camas de arena	Alejandro Piña González; Eva L. León Arreguin; J. G. García Rodríguez; Francisco Cervantes Ortiz; Jesús Frías Pizano; José F. Rodríguez Rodríguez	68
Propagación asexual de dos genotipos de *Opuntia ficus-indica* de nopal	Alvaro Noriega Gallegos, Héctor Silos Espino, Silvia Flores Benítez, Mónica González Reyes	69
Regulación del crecimiento y la fisiología de plántulas de jitomate mediante paclobutrazol y glicina-betaína	Felipe de Jesús Martínez-Gaspar; Marcos A. Cruz-Peloc; César L. Aguirre-Mancilla	70
Resistencia a herbicidas pinoxaden y mesosulfurón metil + iodosulfurón metil sódico en *Avena fatua* proveniente de Pénjamo, Guanajato	Ana K. Campa-Rivera; Glenda M. Gutiérrez-Benicio; César L. Aguirre-Mancilla; Sarahyt S. González-Figueroa; Margarita J. Vázquez-Gaytán; Emiliano Vargas-Almanza	71
Respuesta agronómica del maíz a la dosis de potasio en El Bajío	Juan Francisco Buenrostro Rodríguez; Simon Fonteyne; Javier Z. Castellanos; Jesús Arévalo Zaarco; Miguel Peña Datoli; Amador Tranquilino Aguillón Aguillón; Ouorou Ganni Mariel Guera; Alfredo Josué Gámez Vasquez y Andres Mandujano Bueno	72
Probióticos vegetales rizobianos: Biotecnología clave para la regeneración de suelos y la soberanía alimentaria en México	Francisco Alexander Rincón Molina, Reiner Rincón Rosales, Clara Ivette Rincón Molina y Luis Alberto Manzano Gómez	73
Trichoderma harzianum promueve la calidad nutraceútica y el valor funcional de *Solanum lycopersicum* L.	Georgina Ivette Rodríguez Muñoz; Juan G. Ramírez Pimentel; Erika Cañada Coyote; Cesar L. Aguirre Mancilla; Leandris Argentel Martínez; Mariano Mendoza Elos	74
Trichodermas spp provenientes de lombricomposta como promotores del crecimiento vegetal	Suriel E. Flores Cruz; Omar Romero Arenas; Manuel Huerta Lara	75
Análisis de las políticas públicas de sostenibilidad aplicadas al sector agropecuario de México	Víctor Manuel Montoya-Jasso	76
Uso de la ia (inteligencia artificial) en la ciberseguridad en México	Alan Díaz Durán; Angela Paola Duarte Mata; Margarita Caracheo Rodríguez; Francisco Alejandro Navarro Almanza; Diego Mujica Mandujano; Kevin Mejia Reyes	77
Macroeconomía, importancia y análisis en estudiantes de ingenieria en gestión eempresarial del Tecnológico de Roque	Leslie Alexandra Cruz C.; Camargo R. Yuliana; Soto R. Fernanda; Rodriguez Segura Erik Fabian; Cupul Moreno Laura; Gasca Olalde Mario	78
Proceso de apagado de máquinas tester en la empresa Hirchmann automotive (caso de estudio SMA)	Elías L. Enrique Emmanuel; Ramírez A. María Fernanda; Ramos S. Lizbeth	79

Caracterización colorimétrica de maíces pigmentados mediantes parametros CIELaB	Silvia Nayely García-Venegas; Mariano Mendoza-Elos; Gilberto Rodríguez-Pérez; Susana Elizabeth Altamirano-Romo; Francisco Cervantes-Ortiz; Gerónimo Arámbula-Villa; Cesar Leobardo Aguirre Mancilla	80
Cuantificación de sulforafano en germinado e inflorescencia de brócoli elicitado	María I. Flores Reyes; Cesar L. Aguirre Mancilla; María G. Herrera Hernández; Juan C. Raya Perez; Juan G. Ramírez Pimentel; Salvador H. Guzmán Maldonado	81
Inclusión de harina de vaina de mezquite en *snacks* y su impacto nutricional y sensorial	David A. López Alcántar; Ignacio Mejía-Haro; Héctor Silos-Espino; Deli N. Tirado-González; Karla Y. Amador-Rodríguez	82

ÍNDICE DE ARTÍCULOS EXTENSOS

Agrícola (Agricultura sustentable)		
Título	**Autores**	**Pág**
Aislamiento preliminar de 3 ecotipos *Beauveria bassiana* para determinación de (DL50%) en la zona centro de Veracruz	José Daniel Utrera Jiménez; Daniel Utrera López; Juana Fabiola Jiménez Flores; Rosa María Aguilar Zurita; Monserrat Acosta Cadenas	84
Aplicación de Chlorella *vulgaris* y fertilización órgano-mineral en cultivo de betabel (*Beta vulgaris* L.) en invernadero	Maribel Apolinar-Aguilar; Alfredo Lino-Brito; Noel J., Arozarena-Daza	91
Aplicación de quitosan en la producción de garbanzo (*Cicer arietinum* L.)	Gustavo F. Ibarra Calero; Eduardo E. Camargo González; Rodrigo Ramírez Rodríguez; Paulino Vega Rodríguez; Juan C. González Morales; Luis P. Guevara Acevedo	102
Aplicación foliar de ácido giberélico como estrategia para mejorar el rendimiento de frijol en condiciones de sequía	Odilón Gayosso-Barragán; José Ángel Marroquín Morales; Dreyli M. Hidalgo Ramos; Ulises Aranda Lara; Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico	108
Bioestimulantes en la producción de calabacita bajo condiciones de invernadero	Luis F. Herrera Mendoza; Ian P. Suarez Joya; Edgar A. Meléndez Pescador; José M. Martínez Caracheo; María L. Rivera Serrano; Luis P. Guevara Acevedo	116
Biofertilizantes en la producción de calabacita bajo condiciones de invernadero	Edgar A. Meléndez Pescador; José M. Martínez Caracheo; Luis F. Herrera Mendoza; Ian P. Suarez Joya; Lourdes Rivera Serrano; Luis P. Guevara Acevedo	123
Biofortificación rizobiana del chipilín mediante cepas nativas bajo diferentes fuentes de carbono para mejorar su calidad nutricional	Luis Alberto Manzano-Gómez; Reiner Rincón-Rosales; Diana Rubí Oropeza-Tosca; Francisco Alexander Rincón-Molina; Valeria Mumenthey Zorrilla; Stephanie Solís Zebadúa; Erick Fabián Sarmiento Megchum; Julio César Maldonado Gómez; Clara Ivette Rincón-Molina	129
Aplicación foliar de micronutrientes en el cultivo de pepino (C*ucumis sativum* L.) en invernadero	José M. Martínez Caracheo; Luis F. Herrera Mendoza; Ian P. Suarez Joya; Edgar A. Meléndez Pescador; Juan P. Gonzáles Morales; Luis P. Guevara Acevedo	135
Crecimiento inicial del cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) en respuesta a la biofertilización con *Rhizobium*	Solís Zebadúa Stephanie; Sarmiento Megchum Erick Fabián; Rincón Rosales Reiner; Rincón Molina Clara Ivette; Manzano Gómez Luis Alberto; Gen Jiménez Adriana; Maldonado Gómez Julio César; Rincón Molina Francisco Alexander	141

Desarrollo de un sustrato compostable a base de residuos agrícolas para encapsulamiento de desechos felinos	Jennifer Rangel Trejo; Alejandro León León; Sergio Arturo García Gutiérrez; J. Guadalupe García Rodriguez	153
Efecto de diferentes fertilizantes orgánicos en el desarrollo del romero (*Salvia rosmarinus*) en camas biointensivas para uso medicinal	Karina Villalobos Suaste; Davino Pérez Mendoza; José Luis Camargo Orduño	162
Efecto de fertilizacion foliar orgánica de tomate tipo saladette (palermo F1) en invernadero	Davino Pérez Mendoza; Erila Moreno Alberto; Raúl Rene Robles Lacayo; Lorenzo Licea Rojas; J. Guadalupe García Rodríguez; Juan Pablo González Morales	166
Características productivas de maíz cónico norteño blanco en dos fechas de colecta	Francisco Chablé Moreno; Felipe de Jesús Pérez León; J. Guadalupe García Rodríguez; Ramiro Puga Ayala; Ernesto Preciado Ortíz; José Augusto Roberto Dorantes González; Brayant A. Chablé Salinas	173
Activadores fisiológicos en la producción de garbanzo (C*icer arietinum* L.)	Eduardo E. Camargo González; Gustavo F. Ibarra Calero; Paulino Vega Rodríguez; Rodrigo Ramírez Rodríguez; Juan C González Morales; Luis P. Guevara Acevedo	180
Bacterias nativas como probióticos vegetales	Clara Ivette Rincón-Molina; Luis Alberto Manzano-Gómez; Luis Galdino García-Pérez; Francisco Alexander Rincón-Molina; Reiner Rincón-Rosales; Stephanie Solís Zebadúa; Erick Fabián Sarmiento Megchum; Julio César Maldonado Gómez	185
Tamaño de la población y tiempo de respuesta de *Bacillus cereus* para el control de *Fusarium solani*	Josué I. Zapata-Mata; Brenda Z. Guerrero-Aguilar; Mario M. González-Chavira; César L. Aguirre Mancilla; Ramón G. Guevara González; Juan G. Ramírez Pimentel; Ahuízotl Joaquín Ramos	191
Evaluación de la capacidad antagónica de *Trichoderma yunnanense* frente a la marchitez del trigo (*Triticum aestivum*) causada por *Fusarium* spp.	Vanessa Citlali Guevara- Fonseca; José Gómez- Espinoza; Mariana Quiroz González; Anabel Flores- Lee	201
Fresa *(Fragaria x ananassa*) var. valiant en un sistema acuapónico, simbiosis con *Trichoderma* para una agricultura sostenible	Guillermo Enrique Cruz Nicanor; Héctor Ángel Hernández Jaral; Keyla Alejandra Piñones Ramírez; Pablo Román Rivera Cortez; Mabiel Reyes Fuentes; Anabel Flores Lee; Berenice Rivera Cortez	209
Bioensayo de producción de la coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis) en un sistema SABI	Keyla Alejandra Piñones Ramirez; Kevin Azpiri Solis; Betsabe Remedios Ruiz Ramirez; Mabiel Reyes Fuentes; Jesús David Joaquín Cuarenta; Berenice Rivera Cortez	216
Efecto de microorganismos sobre la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.)	Cid Aguilar-Carpio; Yessica Flor Cervantes Adame; Adriana Pérez-Ramírez; José Alberto Salvador Escalante-Estrada	221
Tecnología de la producción		
Comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte bajo dosis de nitrógeno en El Bajío	Manuel Jeronimo Arriaga; Lourdes Ledesma Ramírez; Ernesto Solís Moya; Francisco Paúl Gámez Vázquez; José Francisco Rodríguez Rodríguez; Dagoberto Flores Marín	229
Comportamiento agronómico de genotipos de maíz tropical bajo riego normal y restringido	Oralia Antuna Grijalva; Armando Espinoza Banda; Enrique Andrio Enríquez; Diana L. Vizcarra Manríquez; Jorge Quiroz Mercado; Blanca E. Zamora Martínez; Alejandro Moreno Resendez; Eulalio Delgado Rico y Nancy Ogaz Camacho	237

Evaluación de un sistema de recirculación de agua de criadero de tilapia (*Oreocromis niloticus*)	Arturo Guadalupe Vera Rivera; Luis A. Ramírez Pulquero; Jesús David Joaquín; Berenice Rivera Cortez; Erika Cañada Coyote; José Gómez Espinoza	244
Evaluación comparativa de efectos de diferentes filtros hídricos para un mejor reprocesamiento y mayor calidad del agua	Guillermo Enrique Cruz Nicanor; Arturo Guadalupe Vera Rivera; Luis A. Ramírez Pulquero; Jesús David Joaquín Cuarenta, Berenice Rivera Cortez, Davino Pérez Mendoza, José Gómez Espinoza	251
Evaluación de diferentes tratamientos de agua de tilapia en respuesta de crecimiento y desarrollo de brocoli (*Brassica oleracea* Plenck)	Javier Jiménez Avalos; Juana María Mejia Rivera; Remedios Betsabe Ruiz Ramirez; Marbella Romero Figueroa; Jesús David Joaquin Cuarenta; Berenice Rivera Cortez; José Gómez Espinoza	258
Evaluación de efluente acuicola como fuente de nutrientes en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Plenck) y coliflor *(Brassica oleracea var. brotitis*)	Remedios Betsabé Ruiz Ramírez; José Gómez Espinoza; Arturo Guadalupe Vera Rivera; Alier Miguel Muñoz Arias; Jesús David Joaquín Cuarenta; Berenice Rivera Cortéz	264
Evaluación de parámetros de crecimiento en lavanda bajo nutrición orgánica (*Lavandula angustifolia*)	Carlos Manuel Uvalle Muñiz; María Paula Morales Santarosa; Josefina Jiménez Muñoz Ledo; Jorge Abraham Rodríguez Sandoval	270
Evaluación de rendimiento en apio (*Apium graveolens*) en diferentes tratamientos orgánicos	Carlos Manuel Uvalle Muñiz; María Paula Morales Santarrosa; Jorge Abraham Rodríguez Sandoval; Josefina Jiménez Muñoz Ledo; Daniel Rodríguez Mercado; Ricardo Yáñez López	276
Evaluación con el empleo de diferentes abonos orgánicos en el crecimiento de planta de romero (*Salvia rosmarinus* Spenn)	María Paula Morales Santarosa; Carlos Manuel Uvalle Muñiz; Josefina Jiménez Muñoz Ledo; Jorge Abraham Rodríguez Sandoval	282
Propagación de tres cactáceas mediante injerto de corona en 2 portainjertos en la zona centro de Veracruz	Daniel Utrera López; Gustavo Pérez Gonzalez; Juana Fabiola Jiménez Flores; Daniel Montiel López; Alfredo Díaz Criollo	287
Producción y rentabilidad de maíz bajo distintas densidades de siembra en El Bajío	Aurelio Báez-Pérez; Eduardo Figueroa Rodríguez; Brian Adolfo Reyes-Cerritos	298
Respuesta fisiológica y productiva de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo diferentes espectros de luz LED	Erick Carmona-Martínez; Dulce A Guarnero-López; Genaro Pérez-Jiménez; Gabriela Briones-Herrera	308
Efecto de *Rhizobium* sp. ACO-34a sobre el crecimiento inicial de papa Fianna bajo salinidad inducida por NaCl	Sarmiento-Megchum Erick Fabian; Solís-Zebadúa Stephanie; Rincón-Rosales Reiner; Rincón-Molina Clara Ivette; Manzano-Gómez Luis Alberto; Gen-Jiménez Adriana; Maldonado-Gómez Julio César; Rincón-Molina Francisco Alexander	316
Fresa (*Fragaria*) variedad Frontera en un sistema acuapónico en simbiosis con *Trichoderma* para una agricultura sustentable	Pablo Román Rivera Cortez; Héctor Ángel Jaral Hernandez, Keyla Alejandra Piñones Ramírez, Mabiel Reyes Fuentes Anabel Flores Lee, Berenice Rivera Cortez	325
Germinación de *Physalis ixocarpa* en sustrato de composta con efluente acuícola	Frida Estrada Bernardo; Ramsés García Moreno; Juan Abisai Patiño Salinas; Mabiel Reyes Fuentes; Jesús David Joaquín Cuarenta; José Gómez Espinoza; Berenice Rivera Cortez	331

Germinación de tomatillo (*Physalis ixocarpa*) en sustrato de fibra de coco con efluente acuícola	Ricardo Huerta Ruiz, Luis Alonso Flores Sanchez, Blanca Estrella Ramírez López, Braulio García Meza, Mabiel Reyes Fuentes, Jesús David Joaquín Cuarenta, José Gómez Espinoza, Berenice Rivera Cortez	337
Manejo de cultivo y nutrición orgánica en el rendimiento de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en El Bajío	Aurelio Báez-Pérez; Brian Adolfo Reyes-Cerritos; Eduardo Figueroa Rodríguez; Ana Lizbeth García Campos; Sergio Gómez-Rosales	343
Diseño de prototipo de sistema hidropónico automatizado	Teresa Wendolin González Sánchez; María Piedad Salazar Martínez; Sergio Arturo García Gutiérrez; Alejandro Guzmán Zazueta; Luis Ramón Sánchez Rico	352
Producción de forraje verde con un sistema hidroponico maiz (*Zea mays* L.) vertical automatizado (preliminar)	José Roberto Augusto Dorantes Gonzalez; Juan José García Rodriguez; Davino Pérez Mendoza; Bryan Fernando Ramos Gutiérrez	357
Producción de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum* L.) con un sistema vertical automatizado (Preliminar)	Juan José García Rodriguez; José Roberto Augusto Dorantes Gonzalez; Davino Pérez Mendoza; Ana Karen Pérez Juarez	366
Uso de índices de vegetación RGB para evaluar el efecto de diferentes dosis de paclobutrazol en plántulas de jitomate	Tadeo F. Ramírez-Linares; Cesar L. Aguirre-Mancilla; Felipe de Jesús Martínez-Gaspar y Juan C. Buenavista-Jaralillo	373
Efecto de temperatura ambiente en calidad y rendimiento de (*Zea mays* L.), en diferentes fechas de siembras	Alfredo Lino-Brito; Maribel Apolinar-Aguilar; Melecio Pérez-Mendoza; Noel J Arozarena-Daza	380
Efecto del ambiente sobre la calidad del trigo harinero y cristalino en El Bajío	Manuel Jeronimo Arriaga; Ernesto Solís Moya; Lourdes Ledesma Ramírez; Sarahyt Santamaria González Figueroa; Eliel Martínez Cruz; Juan José García Rodríguez	391
Mejoramiento genético		
Comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo cristalino bajo dosis de nitrógeno en El Bajío	Lidia Alejandra Rodríguez Zermeño; Lourdes Ledesma Ramírez; Ernesto Solís Moya; Sarahyt Santamaria González Figueroa; Luis Antonio Mariscal Amaro; Dagoberto Flores Marín	399
Rendimiento entre familias de medios hermanos de la raza cónico norteño de Xichú	Maricruz Martínez Lara; Francisco Chablé Moreno; Alfredo Josué Gámez Vázquez; Francisco Cervantes Ortiz; Jesús Frías Pizano; Ricardo Yáñez López; J. Guadalupe García Rodríguez	406
Evaluación agronómica de 36 genotipos de trigo cristalino en El Bajío	Lidia Alejandra Rodríguez Zermeño; Ernesto Solís Moya; Lourdes Ledesma Ramírez; Francisco Paúl Gámez Vázquez; Juan José García Rodriguez; José Francisco Rodríguez Rodríguez	416
Biotecnología		
Regeneración *in vitro* de embriones maduros S_1 de la raza de maíz cónico norteño de xichú	Maricruz Martínez Lara; Francisco Chablé Moreno; Alfredo Josué Gámez Vázquez; Francisco Cervantes Ortiz; Jesús Frías Pizano; Ricardo Yáñez López; J. Guadalupe García Rodríguez	425
Selección de microorganismos tolerantes a la ricina para la hidrólisis de residuos lignocelulósicos de higuerilla	J. Gabriel Ramírez-Pimentel; Carlos A. Flores-Gómez; Juan Carlos Raya-Pérez; Karla W. Luna Salas; Jean B. Ramírez-Guerrero; Brayant Adair Chablé-Salinas; Jorge Covarrubias-Prieto; César L. Aguirre Mancilla	433

Uso de *Trichoderma yunnanense* como agente biocontrolador de *Fusarium* spp. el cultivo de lechuga	Tania Gabriela Martinez-Martínez; Anabel Flores-Lee; Yareli Alejandra Velasco León; José Gómez -Espinoza	443
Comportamiento de dos cepas de *Pleurotus ostreatus* en la zona costera del estado de veracruz	Nick Virgen Barradas, Juana Fabiola Jiménez Flores, Daniel Utrera Lopez, Montserrat Acosta Cadenas, Ramiro Sánchez Uranga	448
Determinación de rendimiento de *Pleurotus djamor* en 4 mezclas de sustratos intergenéricas	Juana Fabiola Jiménez Flores; Pedro Alarcón Acosta; Daniel Utrera López; Montserrat Acosta Cadenas; José Daniel Utrera Jimenez	455
Semillas		
Asociación de caracteres de calidad fisiológica en el almacenamiento de cereales	Rocío Edelmira Hernández-Caldera; Luis Octavio Rubio; Miguel Ángel Ávila-Perches; Alfredo Josué Gámez-Vázquez; Mirna Bobadilla Melendez; Griselda Yunuen Rodríguez de Velazco	465
Calidad fisiológica en semillas de cebada y trigo, almacenadas en diferentes envases	Mirna Bobadilla Meléndez, Rocío E. Hernández Caldera, Miguel A. Avila Perches, Alfredo Josué Gámez Vázquez, Juan Pablo Rivera Moreno y Luis Octavio Rubio Sánchez	471
Efecto de la temperatura en el almacenamiento y calidad fisiológica en cereales	Rocío Edelmira Hernández-Caldera; Diana Noemi Jiménez Pérez; Miguel Ángel Ávila-Perches; Alfredo Josué Gámez-Vázquez; Mirna Bobadilla Melendez; Juan Pablo Rivera Moreno	480
Evaluación de germinación en celosia (*Celosia cristata*) sometidas a diferentes estándares de radiación gamma	Gabriela Briones Herrera; Genaro Pérez Jiménez; Erick Carmona Martínez; Dulce A. Guarnero López	486
Fertilización con microelementos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condición de invernadero	Ian P. Suarez Joya; Luis F. Herrera Mendoza; Edgar A. Meléndez Pescador; José M. Martínez Caracheo; María L. Rivera Serrano; Juan P. González Morales; Luis P. Guevara Acevedo	493
Pecuario		
Evaluación de la eficacia vacunal en bovinos de péptidos de quitinasa conteniendo epítopos b contra garrapata *Rhipicephalus microplus*	María Martina E. Pérez-Soria; Daniel G. López-Díaz; Gabriela Aguilar-Tipacamú; Juan Mosqueda (Resumen)	499
Evaluación nutricional de diferentes niveles de fibra ácido detergente en dietas de conejos de engorda	Francisco Javier Pinales Jiménez; Ignacio Mejía Haro (Resumen)	500
Hongos del género *Pleurotus* como alternativa funcional al uso de antibióticos en aves de engorda	Sergio A. Vázquez Rascón; Miguel Gómez Jiménez; María Susana Acosta Navarrete; Fidel M. Torres Lemus, Mario Hidalgo-Ruiz (Resumen)	501
Produccion anual y densidad poblacion de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) variedad Copena-1 en una huerta de temporal	J. Encarnación García-Portuguez; Saturnino Duarte Ramos	502
Análisis de rentabilidad entre razas bovinas bajo condiciones homogéneas de manejo y alimentación	Karina Marlene Morales Ramírez; María Guadalupe Alvarado Pescador; Elisa Franco Vadillo; Paula Itzel Hernández Pescador; Roberto Carlos Rivera Cortez	508
Forestal		

Mejoramiento del potencial germinativo de semilla de palo blanco (*Lysiloma candidum* L.)	Iris Jocelyn Rodriguez Robles; Roberto Carlos Rivera Cortez; Juan Pablo Ruiz Franco; Elisa Franco Vadillo; Ma.de Lourdes López Orozco	518
Reforestación con especies nativas: una experiencia comunitaria enfocada a los servicios ecosistémicos y cambio climático	Eduardo J. Moguel-Ordoñez; Nelly del C. Jiménez-Pérez; Coral J. Pacheco-Figueroa; Juan de D. Valdez-Leal; Lilia Gama-Campillo; Ena E. Mata-Zayas	523
Efecto de la aplicación foliar de urea, micronutrientes y cobre sobre el crecimiento y brotación de mezquite	Melisa Villegas-Vazquez; Carlos Moises Paredes-Rodriguez; José David Ochoa-Mancera; Ernesto Lopez-Garcia; Miguel Ángel Sanchez-Olvera; Guillermo Martínez Rodríguez; Francisco Chablé Moreno	524
Tecnologías de la información y comunicación aplicada a la producción agroalimentaria		
Análisis del proceso de portales administrativos para factura al cliente (caso tresguerras)	Brenda Jeanette Muñiz Martinez, María Eugenia Gallardo Rodríguez, Claudia Marilú Fuentes Gallardo, Laura Cupul Moreno, Wendy Mondragón Moreno, Erik Fabian Rodríguez Segura	532
Desarrollo de sistema IoT para control de accesos vehiculares	Diego Mandujano Vázquez; José Luis Juárez Alvarez; Sergio Arturo García Gutiérrez; José Luis Camargo Orduño; Mariana Rojas Delgado	537
Colorímetro inteligente de bajo costo basado en anfis para predecir °brix en *Citrus sinensis* L.	Marcos J. Villaseñor-Aguilar; Alejandro De Lucio Rangel; Hector M. Galván-López; Alejandro I. Barranco-Gutiérrez y Carlos G. Manríquez-Padilla	543
Desarrollo de un sistema de clasificación de fresas (Fragaria × ananassa) mediante OPENCV-PYTHON	Gonzalez Cruz Ashley Jeovanna;, Romero Ramírez Juan Manuel; Marcos J. Villaseñor-Aguilar; Gerardo Trejo-Caballero y Mario A. Juarez-Balderas	552
Diseño conceptual de una cámara de morfogénesis fúngica inteligente	Raúl Omar Herrera Arroyo; Cristal Yoselin Moreno Aguilera; Juan José Martínez Nolasco; Miguel Ángel Gómez Jiménez; María Susana Acosta Navarrete; Raúl René Robles Lacayo y Fernando Germán Flores Guillén	559
Estimación de la ploidía en fresa (*Fragaria* spp.) mediante características morfológicas y aprendizaje automático	Martha J. Diosdado-Montenegro; Jorge E. Ruiz-Nieto; Ana E. Rangel-Castillo; María I. Laguna-Estrada; María D. Hernandez-Ibarra; Abel Ceron-García	567
Uso de la IA (Inteligencia artificial) y el rendimiento académico en estudiantes del Tecnológico de Roque	Carmona Rodríguez Francisco Javier; Landin Ramírez Paloma Yarieth; Morin Nolasco Yurianna Alexandra; Valdez Centeno Karla Ivett; Villanueva Amador Mariana; Rodriguez Segura Erik Fabian	568
Ciencias económicos administrativas en el sector agroalimentario		
Análisis de factores macro económicos en PYMES (caso de estudio municipios de Celaya, girardot)	Cristian Yair León Amórtegui; Erik Fabian Rodriguez Segura; Wendy Mondragón Moreno; Laura Cupul Moreno; Maria Eugenia Gallardo Rodriguez, Saul Armando Cerca Vazquez	573
Análisis de la optimización de procesos inteligentes en el área de logística en méxico (2023-2025)	Ana Jacqueline Bárcenas Ángel; María de Jesús Nuñez Vega; Natalia Lara Sanchéz	582
El marketing digital y sus estrategias; caso marca Guanajuato	Laisha Marisol Bolaños Hernandez; Joana Noemi Hurtado Mancilla; Jennifer Hernandez Prado; Samara Mendoza Ferrer; Carla Ibanez Olvera	589
Docencia		

Análisis del impacto que tienen las 5´s para la modalidad mixta en el TecNM-Roque	Aron Primero León; Paulina Martínez Barrón; Erik Fabián Rodríguez Segura; Laura Cupul Moreno (Resumen)	596
Análisis del impacto en la salud mental por el uso de redes sociales	María Johana Hernández García; Miguel Ángel Valencia Sánchez	599
Análisis de los factores académicos que afectan a estudiantes del Tecnológico de Roque, modalidad mixta	Karla Edith Estrada Joaquín; Laura Cupul Moreno; Erik Fabian Rodríguez Segura; Wendy Mondragón Moreno; Ilza Areldi Cupul Moreno; Saul Armando Cerca Vázquez	602
La teoría humanista y el impacto de las redes sociales en estudiantes del Tecnológico de Roque	Cano M. Guadalupe; Diaz G. Francisco Emiliano; Valdes A. Carlos Eduardo; Belman G. Mariana Jocelyn; Rodriguez Segura Erik Fabian	610
Pobreza y desigualdad, un análisis de los conceptos y su comprensión (caso estudiantes TecNM Roque)	Paloma Guadalupe García Arroyo; Sebastian Medina Jauregui; Cristian Giovanny Rodríguez Cervantes; Barvara Soledad Calderón Hernández; Sarahi Solorzano Aguilar; Vanessa Gasca Mejia	616
Uso y costumbres de los estudiantes del TecNM roque en relación a la inteligencia artificial (IA)	Aguilera G. Sandra Marisol; Ochoa C. Mariana[2]; Caracheo M. Yareli; Reyes L. Frida Jesica; Sandoval D. María del Carmen; Rodriguez Segura Erik Fabian	621
Andamiaje cognitivo con inteligencia artificial generativa en el aprendizaje basado en problemas de ciencias básica	Sofía Miranda-Hernández; Gisela Rodríguez-Lerma; Carolina Cárdenas-Cabrera; Israel Estrada-Cortes	627

RESÚMENES CORTOS

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ACEITES ESENCIALES COMO TRATAMIENTO A SEMILLA DE FRIJOL PARA CONTROL DE *Zabrotes subfasciatus* (BOH)

Diego A. Pérez Lucio[1]; Sara C. Quintero Vallejo[1*]; José F. Rodríguez Rodríguez[2*]; Angélica M. López Ledesma[1], Francisco Cervantez Ortiz[1]; Cristopher Andrade Rico[1]

[1]Instituto Tecnológico de Roque, Carretera-Juventino Rosas Km. 8 Celaya Guanajuato. [2]INIFAP-CIRCE, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende. Km. 6.5 Celaya, Guanajuato. Autor de correspondencia: *sc.quintero.vallejo@gmail.com

RESUMEN

En El Bajío el frijol representa uno de los sistemas agrícolas más dinámicos y técnicamente complejos de México. En la actualidad para el control de plagas en el almacén de esta semilla domina la aplicación de productos de origen químico; sin embargo, su uso desmedido ha representado varios inconvenientes para la salud, así como para el medio ambiente, una de las alternativas es el uso de aceites esenciales. El objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad biológica de aceites esenciales como control biorracional para gorgojo en semilla de frijol. Se utilizaron aceites de menta, romero, canela y lemon grass para dos genotipos de semilla de frijol: Pinto Saltillo y Flor de mayo, con una dosis de 0.5 mL por cada 200 g de semilla. Dentro de cada unidad experimental se colocaron 50 semillas, previamente tratadas con aceites, con 10 gorgojos con 4 repeticiones. Posteriormente se realizó un conteo de mortalidad a los 4 y 11 días de haber iniciado la prueba. Los aceites esenciales de Canela y Menta demostraron una mortalidad del 100% posterior a los 4 días de aplicación, por su parte el aceite de lemon grass y romero presentaron mayor efectividad a los 11 días de aplicación con una mortalidad de 98.5% y 94.7%. En conclusión, los aceites esenciales de canela y menta son más efectivos para control de esta plaga en menor tiempo.

Palabras clave: *Aceites esenciales, canela, frijol, gorgojo*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ALELOPATÍA DE EXTRACTOS VEGETALES SOBRE EL POTENCIAL GERMINATIVO DE SEMILLA DE MALEZA

Zaira G. Rivera-Méndez[1]; César L. Aguirre-Mancilla[1]; Sarahyt S. González-Figueroa*[2]; Glenda M. Gutiérrez-Benicio[1]; Oscar A. Grageda-Cabrera[2]; Ana K. Campa-Rivera[1]

[1]TecNM- Campus Roque,[2]Campo Experimental Bajío-INIFAP. *Autor de correspondencia: sarahytgonzalez@hotmail.com

RESUMEN

La alelopatía es una técnica natural que tiene el potencial de ser una herramienta que podría ser útil para el control de malas hierbas, y tener una agricultura sostenible. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto alelopático de extractos vegetales en la germinación de semillas de maleza de hoja ancha y hoja angosta. El experimento se realizó en el área de maleza del Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se evaluaron extractos vegetales obtenidos de tallo, raíz y hoja obtenidos de tres plantas de maleza (*Argemone mexicana* L.; *Brassica rapa* L. *y Larrea tridentata (Sessé & Moc. ex DC.) Coville*). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, donde el Factor A correspondió a 6 especies de maleza y el Factor B a 14 extractos vegetales evaluadas. Las variables analizadas fueron porcentaje y velocidad de germinación durante siete días. Con base a los resultados se observó que los extractos de *Argemone mexicana* y *Larrea tridentata* con solventes de alcohol y agua inhibieron la germinación del 23.83% al 0% pudiéndose considerar como un posible control efectivo en las especies de maleza Amaranthus hybridus, *Avena fatua*, *Chenopodium album*, *Iphomoea purpuracea*, *Setaria adherens, Sorghum halepense.*

Palabras clave: *Argemone mexicana*, control, metabolitos secundarios.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS EN PLÁNTULAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN RESPUESTA AL DÉFICIT HÍDRICO

Sofía M Sepúlveda Soria[1]; Gabriela González González[1]; César L Aguirre Mancilla[1]; Carlos H Avendaño Arrazate[2]; Misael Bolaños Martínez[2]; Juan G. Ramírez Pimentel[1]; Glenda M Gutiérrez Benicio[1*]

[1]Tecnológico Nacional de México/IT Roque, km. 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya CP 38110, Guanajuato, México. [2]Campo Experimental Rosario Izapa, Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 18, Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico 30870, Chiapas, México. Autor de correspondencia: glenda.gb@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La variabilidad morfológica de los principales genotipos de cacao: criollo, trinitario y forastero, permite su identificación en campo a través de caracteres específicos. Esta diferenciación morfológica es evidente en etapa productiva, en fase de plántula la morfología resulta similar entre genotipos, lo que dificulta una selección temprana de materiales promisorios. Dadas las condiciones climáticas actuales y que el cacao es un cultivo con alta demanda hídrica, es importante identificar alteraciones que sirvan para la selección temprana de variedades susceptibles y tolerantes al estrés hídrico. El presente estudio tuvo como objetivo analizar parámetros morfológicos en tres genotipos de cacao, sometidos a tratamientos: irrigado y no irrigado. Los parámetros evaluados fueron: longitud, ancho y número de hojas, altura de planta y dosel, grosor de tallo y número de nudos. Los resultados mostraron que el número de nudos resultó estadísticamente diferente en función del tratamiento hídrico, mientras que el resto de los parámetros se vieron influenciados exclusivamente por el genotipo; esto coincide con la caracterización morfológica distintiva de cada genotipo en etapa productiva. Se requieren análisis bioquímicos, fisiológicos y moleculares para una selección precisa en etapas tempranas de variedades tolerantes al estrés hídrico. Eso resulta prometedor para programas de mejoramiento genético del cacao en regiones tropicales cada vez más afectadas por periodos de sequía.

Palabras clave: *cacao, sequía, morfológicos, genotipos*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

BIOFERTILIZANTES RIZOBIANOS COMO ESTRATEGIA INTEGRAL PARA LA SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA Y LA REGENERACIÓN DE SUELOS EN MÉXICO

Reiner Rincón Rosales[1]; Clara Ivette Rincón Molina[1]; Luis Alberto Manzano Gómez[1] y Francisco Alexander Rincón Molina[1]

Laboratorio de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Chiapas, México. C.P. 29050

RESUMEN

La agricultura convencional enfrenta desafíos asociados a la baja eficiencia en el uso de fertilizantes químicos, donde hasta el 30–50% del nitrógeno y 75–85% del fósforo aplicado se pierde por procesos como lixiviación, volatilización y fijación en el suelo. Esta problemática incrementa los costos de producción y genera impactos ambientales negativos, afectando la salud del suelo como sistema vivo. En este contexto, los biofertilizantes microbianos representan una alternativa sostenible para mejorar la productividad agrícola y la calidad del suelo. El presente trabajo analiza el potencial de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), con énfasis en bacterias rizobianas nativas de México. Estas presentan mecanismos funcionales como fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo, producción de fitohormonas y sideróforos, así como formación de biopelículas y colonización eficiente de raíces. Se destacan cepas como Rhizobium sp. ACO-34A y especies del género Sinorhizobium, evaluadas en cultivos de importancia agrícola como tomate, maíz, chile, frijol y agave. Los resultados experimentales evidencian incrementos significativos en parámetros agronómicos, incluyendo aumentos en rendimiento superiores al 150% en tomate en comparación con fertilización convencional. Asimismo, se resalta la importancia de garantizar inocuidad, estabilidad tecnológica, viabilidad celular y cumplimiento de normativas para el desarrollo de bioinsumos eficientes y seguros. Este enfoque se integra al concepto de “Una Salud”, reconociendo la interrelación entre suelo, planta, ambiente y salud humana. Finalmente, se presenta la Red PROBIOTEC como una iniciativa de articulación entre academia, sector productivo y gobierno, orientada a impulsar la transición hacia sistemas agrícolas sostenibles, regenerativos y basados en innovación biotecnológica, contribuyendo al rescate del campo mexicano y a la soberanía alimentaria nacional.

Palabras clave: *Biofertilizantes, Rhizobium, Agricultura sostenible, Microbioma del suelo*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CAPACITACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE SETAS (*Pleurotus ostreatus*) (JACQ. EX FR.) P. KUMM. (1871)) EN MAÍZ NATIVO (*Zea mays* L.): CASO TLAXIACO

Miguel Ángel Gómez-Jiménez[1]*, Diana Rubí Oropeza-Tosca[2], Karina González-Izquierdo[2], Reiner Rincón Rosales[3], María Susana Acosta Navarrete[1], Omar Jiménez-Márquez[4]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque; [2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Villahermosa; [3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; [4]Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Tlaxiaco. Autor de correspondencia: mgoji@hotmail.com[1*]

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue capacitar a 10 docentes del departamento de ciencias básicas y 2 productores en la Heroica Ciudad de Tlaxiaco para la producción de *Pleurotus ostreatus* (JACQ. EX FR.) P. KUMM. (1871)) utilizando olote de maíz nativo como sustrato. La metodología consistió en una sesión teórica de una hora donde se abordó la importancia nutricional, ambiental y económica de los hongos, así como los fundamentos técnicos para su cultivo y su potencial de implementación en contextos educativos y comunitarios. Posteriormente, se desarrolló una práctica en laboratorio en el Instituto Tecnológico de Tlaxiaco. El sustrato (olote de maíz nativo) fue sometido a ebullición durante 20 minutos, enfriado e inoculado con micelio previamente adquirido en la región. Las unidades de cultivo se colocaron en condiciones controladas de oscuridad y temperatura, permitiendo el desarrollo de los cuerpos fructíferos en un periodo aproximado de 30 días. Los resultados evidenciaron una alta aceptación de la tecnología por parte de los participantes, quienes manifestaron interés en replicar el proceso en sus instituciones y comunidades. Se logró la producción exitosa de setas, validando la viabilidad técnica del uso de residuos agrícolas regionales como sustrato. Se concluye que la capacitación fue efectiva como estrategia de transferencia de conocimiento, promoviendo el aprovechamiento sustentable de recursos regionales y el desarrollo de proyectos productivos con potencial educativo, económico y ambiental en comunidades rurales.

Palabras clave: *Cultivo de hongos, Capacitación comunitaria, Desarrollo sustentable, Pleurotus ostreatus*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CLOROFILA EN LÍNEAS AVANZADAS DE TRITICALE (*Triticosecale Wittmack*) EN EL BAJÍO

María del Rosario Rivera-Gaytan[1*]; Alma Angélica Silva-Amaro[1]; Francisco Cervantes-Ortiz[2]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque. *Autor de correspondencia: l22980464@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El triticale *(× Triticosecale Wittmack*) es un cereal híbrido obtenido de la cruza entre trigo (*Triticum aestivum*) y centeno (*Secale cereale*), reconocido por su adaptaciónón a diferentes condiciones ambientales y su potencial productivo. Entre las variables fisiologicas de mayor importancia se encuentra el contenido de clorofila, ya que está relacionado con la capacidad fotosintética y el estado nutricional de la planta. El presente estudio se llevó a cabo en el Tecnológico Nacional de México campus Roque, durante el ciclo agrícola 2025–2026, con el objetivo de evaluar el contenido de clorofila en líneas avanzadas de triticale bajo condiciones de campo. Se utilizaron nueve líneas avanzadas de triticale y tres testigos comerciales, evaluados mediante un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. La variable evaluada fue el contenido de clorofila (SPAD), utilizando un medidor portátil en diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas entre genotipos, observándose que algunas líneas presentaron valores más altos de clorofila, indicando mayor vigor vegetativo y mejor eficiencia fisiológica. En contraste, las líneas 2 y 12 registraron los valores más bajos de SPAD, reflejando menor capacidad fotosintética. En general, las líneas con mayor contenido de clorofila mostraron mejor desarrollo agronómico y potencial para futuros programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: *triticale, clorofila, SPAD, líneas avanzadas, fisiología vegetal.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO DEL VIGOR Y CONTENIDO DE CLOROFILA EN MAIZ AMARILLO BAJO DOS FECHAS DE SIEMBRA

Ana Karen Navarrete Muñoz[1]; Francisco Cervantes-Ortiz[2]; J. Guadalupe García-Rodríguez[2]; Josué Paulino Rivera Muñoz[1]; Miguel Ángel Ávila Perches[3]; Alfredo Josué Gámez Vazquez[3]; y Gilberto Rodríguez Pérez[4]

[1]Estudiante de posgrado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, [2]Investigador, Tecnológico Nacional de México-Roque, 3Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 4Investigador, Tecnológico Nacional de México/Instituto Valle del Yaqui. *Autor de correspondencia: francisco.co@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La mejor respuesta de un cultivo depende de la genética del cultivo, del ambiente en que esta se evalúa y de la interacción de ambos factores, por lo que se requiere identificar el efecto que tienen la evaluación de diferentes fechas de siembra, sobre el vigor de diferentes genotipos, así como de la integridad de la clorofila, como un indicador de la sanidad y fisiología del cultivo, ambos caracteres son básicos para obtener buenos rendimientos de grano y semilla. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de dos fechas de siembra sobre el contenido de clorofila y vigor visual en siete líneas de maíz amarillo establecidos bajo condiciones de campo; para cumplirlo el experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por fecha de siembra. Se establecieron las siete líneas de maíz amarillo en la localidad del TecNM-Roque ubicado en Celaya, Guanajuato, México. Se evaluaron, el contenido de clorofila se determinó mediante lecturas de SPAD en etapa vegetativa V6 – V9 y el vigor visual bajo escala nominal. Los datos fueron sometidos a análisis de combinado y comparación de medias ($P \leq 0.05$). Los resultados mostraron diferencias significativas entre las fechas de siembra, observando mayores valores de clorofila en etapas tempana, de forma que sugiere mejores condiciones ambientales para una mejor actividad fotosintética. Mientras que para vigor visual las diferencias fueron notorias entre líneas. De esta manera, se detectaron diferencias entre genotipos, evidenciando la variabilidad en la respuesta fisiológica. La fecha de siembra óptima influye significativamente en el contenido de clorofila en maíz, lo cual permite impactar en el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: *Zea mays, maíces amarillos, análisis combinado, clorofila*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA *IN VITRO* DE DOS EXTRACTOS VEGETALES FRENTE A UNA VARIEDAD DE HONGOS FITOPATÓGENOS

§María F. Arriaga-Montero[1]; Cesar L. Aguirre-Mancilla[1]; Juan G. Ramírez-Pimentel[1]; Glenda M. Gutiérrez-Benicio[1]; Erika. Cañada-Coyote[1]; Carlos A. Flores-Gómez[1].

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituo Tecológico de Roque, km.8 Carretera Celaya-J. Rosas. Celaya, Guanajuato.
§Autor de correspondencia e-mail: fernandaarriaga46@gmail.com

RESUMEN

Las enfermedades en las plantas causadas por hongos constituyen una de las principales amenazas a la seguridad alimentaria. El control biológico se desempeña para el desarrollo sostenible de diversos cultivos, con la finalidad de generar productos de calidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad *in vitro* de dos extractos vegetales frente a una variedad de hongos fitopatógenos de interés agrícola, así como su composición bioquímica. Se realizaron dos extractos vegetales etanólicos los cuales fueron evaluados mediante la técnica de envenenamiento frente a hongos fitopatógenos tales como *Fulvia fulva, Aspergillus niger*, *Sclerotinia sp*. *Fusarium oxysporum* y *Fusarium graminearum,* por otro lado, se efectuaron pruebas fitoquímicas cualitativas con el fin de identificar compuestos bioactivos. Dentro de los resultados se obtuvieron porcentajes de inhibición que van desde el 45%% hasta 100%. De manera complementaria en los ensayos fitoquímicos se detectó la presencia de fenoles, flavonoides, triterpenos, esteroides y taninos. En conclusión, se establece que los metabolitos secundarios extraídos de ambos extractos etanólicos inhiben el crecimiento de hongos fitopatógenos en condiciones *in vitro.*

Palabras clave: *Fitoquímica, fitopatógenos, extractos vegetales, control biológico.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE INDOXACARB CON NANOPARTICULAS DE SILICIO EN EL CONTROL DE *Plutella xylostella* L.

Juan F. Rodriguez Trejo[1]; José F. Rodríguez Rodríguez[2*]; Osvaldo García Tirado[1]; Ernesto Cerna Chávez[3]; Beatriz García Rodríguez[1] y Yisa M. Ochoa Fuentes[3]

[1]Tecnologíco Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya - Juventino Rosas, Km. 8, C.P. 38010 Celaya. Guanajuato, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya - San Miguel Allende Km. 6.5, C.P. 38010, Celaya, Guanajuato, México. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México.
*francisco_azul@live.com.mx

RESUMEN

El brócoli es un cultivo importante en el estado de Guanajuato, en esta región se produce más del 60% de la producción nacional; uno de los principales problemas que afecta la producción es la presencia de la *Pluetlla xylostella* llegando a generar pérdidas del 80% sino se tiene un control adecuado, el principal método de manejo es el uso de insecticidas químicos, sin embargo, se han desarrollado poblaciones resistentes; actualmente es necesario explorar nuevas tecnologías como la nanotecnología con el uso nanopartículas que aumentan la efectividad biológica de los insecticidas. El objetivo fue evaluar la eficacia de nanopartículas de silicio en la actividad insecticida de indoxacarb para el control de *Plutella xylostella*. Se realizaron pruebas de efectividad biológica siguiendo el método 018 propuesto por el IRAC evaluando el insecticida indoxacarb y en combinación con nanopartículas de silicio (5%), se realizaron soluciones seriadas de 50, 100, 500,2000, 4000,6000 ppm. Los resultados muestran que el insecticida solo reportan una CL_{50} de 592.99 ppm, mientras que, en combinación con la nanopartícula presentó una CL_{50} de 66.85 ppm. Por lo que, se concluye que la aplicación de nanopartículas de silicio incrementa la actividad biológica del indoxacarb al reducir la CL_{50} en 8,87 veces.

Palabras clave: *Silicio, mortalidad, efectividad biológica, Pluetalla xylostella*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE LÍNEAS AVANZADAS DE TRITICALE (× TRITICOSECALE WITTMACK) EN EL BAJÍO SOBRE CARACTERÍSTICAS DE PLANTA Y ESPIGA

Juan David Ramírez Vázquez[1]; Alma Angélica Silva-Amaro[1*]; Francisco Cervantes-Ortiz[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Km 8 Carretera Celaya–Juventino Rosas, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. *Autor de correspondencia: d24980861@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El triticale *(× Triticosecale Wittmack)* es un cereal híbrido obtenido del cruce entre trigo y centeno, caracterizado por su adaptación a diferentes condiciones ambientales y su importancia en sistemas agrícolas de producción de grano y forraje. Dentro de las prácticas agronómicas, la densidad de siembra influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a la competencia por luz, agua y nutrientes. El presente estudio se realizó durante el ciclo agrícola 2025–2026 en el Instituto Tecnológico de Roque, ubicado en Celaya, Guanajuato, México, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra sobre características de planta y espiga en líneas avanzadas de triticale. Se utilizó un diseño experimental de parcelas subdivididas con tres repeticiones, evaluando tres densidades de siembra (100, 150 y 200 kg ha^{-1}) en nueve líneas avanzadas y tres testigos. Las variables analizadas fueron longitud de espiga y número de espiguillas por espiga. Con base en antecedentes reportados para cereales de invierno, se observó que densidades altas incrementaron la competencia entre plantas y redujeron algunas características morfológicas de la espiga, mientras que las densidades intermedias favorecieron un mejor desarrollo y expresión del potencial de las líneas evaluadas. La información generada permitió obtener bases para el manejo agronómico del triticale bajo condiciones del Bajío.

Palabras clave: *triticale, densidad de siembra, espiga, espiguillas, Bajío*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LÍNEAS AVANZADAS DE TRITICALE (TRITICOSECALE WITTMACK), EN EL BAJÍO

Alma Angélica Silva-Amaro[1*]; Francisco Cervantes-Ortiz[1]; Gilberto Rodríguez-Pérez[2]; Mariano Mendoza-Elos[1]; Ahuizotl de Jesús Joaquín-Ramos[1] y César Leobardo Aguirre-Mancilla[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico deRoque, [2]Tecnológico Nacional de México/Tecnológico del Valle del Yaqui. *Autor de correspondencia: d24980861@roque.tecnm.mx

RESUMEN

Los cereales son esenciales para la alimentación mundial por su importancia nutricional y económica. En los últimos años, los cultivos híbridos han cobrado relevancia por su capacidad de combinar características favorables de distintas especies, mejorando su adaptación a condiciones ambientales adversas y su potencial productivo. Entre estos destaca el triticale (× *Triticosecale wittmack*), resultado de la cruza entre trigo (*Triticum aestivum*) y centeno (*Secale cereale*), el cual sobresale por su adaptación a condiciones adversas, alto rendimiento y mayor contenido de proteína en comparación con el trigo. El presente estudio se realizó en el Tecnológico Nacional de México campus Roque durante el ciclo agrícola 2025–2026, con el objetivo de evaluar el efecto de la densidad de siembra y la fertilización orgánica sobre variables morfológicas y fisiológicas en nueve líneas avanzadas de triticale y tres testigos: un triticale comercial, trigo y centeno. El experimento se estableció en condiciones de campo mediante un diseño experimental de parcelas subdivididas con tres repeticiones, considerando diferentes densidades de siembra y la aplicación de fertilización orgánica. Las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), longitud de espiga (LE) y contenido de clorofila (SPAD), indicadores relacionados con el crecimiento y estado nutricional del cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas entre genotipos y tratamientos, destacando el efecto favorable de la fertilización orgánica sobre las variables analizadas. Algunas líneas de triticale mostraron mayor vigor vegetativo y un mejor estado nutricional, destacando su potencial para incorporarse en sistemas de producción más sostenibles. Por el contrario, las líneas 2 y 12 presentaron valores bajos de altura de planta (AP), independientemente del tipo de fertilización utilizada. Asimismo, la densidad de siembra no generó diferencias significativas en las variables evaluadas, lo que indica que el uso de densidades bajas podría disminuir los costos de producción sin afectar el desempeño del cultivo.

Palabras clave: *Triticale wittmack, densidad de siembra, fertilización orgánica, bajío*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE LA DOSIS DE POTASIO EN RENDIMIENTO DE GRANO Y ACUMULACIÓN EN EL SUELO (AVANCES DE INVESTIGACIÓN)

Juan Francisco Buenrostro Rodríguez[1]*; Simon Gerrit Fonteyne[1]; Javier Z. Castellanos[2]; Jesús Arévalo Zaarco[3]; Miguel Peña Datoli[3]; Amador Tranquilino Aguillón Aguillón[1]; Ouorou Ganni Mariel Guera[1]; Alfredo Josué Gámez Vasquez; Andres Mandujano Bueno[2] y Enrique Reyes Becerra[2]

[1]Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Texcoco, Edo. de México. [2]Tecnologico Nacional de México-IT de Roque, Roque, Celaya, Guanajuato. [3]Fertilab. Celaya, Guanajuato. [4]Campo Experimental Bajío. INIFAP. Celaya, Guanajuato. * Autor de correspondencia: j.buenrostro@cgiar.org

El potasio (K) es un regulador fisiológico esencial para el rendimiento del maíz; en dosis adecuadas, optimiza el llenado de la mazorca, incrementa el peso del grano y fortalece al cultivo ante el estrés hídrico y térmico. Una nutrición potásica óptima potencia la fotosíntesis y el transporte de azúcares, maximizando la productividad. El objetivo de este estudio es determinar la respuesta del rendimiento en trigo y maíz a distintas dosis de potasio, así como evaluar la dinámica de acumulación del nutriente en el suelo bajo las condiciones del Bajío guanajuatense a través del tiempo. A partir del ciclo otoño-invierno 2023-2024, el estudio se desarrolla en la plataforma Irapuato I (Hub Bajío-CIMMYT), en un suelo con un nivel de potasio moderadamente alto (424 kg ha^{-1}). Se evaluaron cuatro tratamientos (0, 50, 100 y 150 kg ha^{-1} de K_2O). Se mide el rendimiento de grano, sus componentes y valores SPAD. Tras dos ciclos de evaluación, el rendimiento del trigo mostró un comportamiento variable: el primer año presentó una respuesta proporcional a la dosis, mientras que el segundo presentó una tendencia lineal. En maíz, el rendimiento aumentó de forma incremental y proporcional a la dosis aplicada en ambos años. Por otro lado, la dosis de 150 kg ha^{-1} generó un incremento significativo del 32% en la acumulación del nutriente en el suelo ($p \geq 0.05$), mostrando una respuesta estadísticamente similar a la de 100 kg ha^{-1} y superior a los demás tratamientos.

Palabras clave: *potasio, maíz, rendimiento*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICAS EN LÍNEAS AVANZADAS DE TRITICALES (*Triticosecale WITTMACK*), EN EL RENDIMIENTO DE GRANO Y ALTURA DE PLANTA EN EL BAJÍO

Daniel Hernández Garcia[1]; Alma Angélica Silva-Amaro[1*]; Francisco Cervantes-Ortiz[1]; Eva L. León-Arreguin[1]

[1]Tecnológico Nacional de México-Roque. *Autor de correspondencia: l22980093@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El triticale (× Triticosecale Wittmack) es un cultivo cereal híbrido obtenido mediante la combinación genética entre el trigo (Triticum aestivum) y el centeno (Secale cereale). Este cultivo destaca por su buena adaptación a diversas condiciones climáticas y de suelo, además de presentar un alto potencial de rendimiento y valor nutricional .Actualmente, el uso de alternativas de fertilización ha cobrado importancia debido a la necesidad de reducir costos de producción y disminuir el impacto ambiental generado por los fertilizantes químicos. Los tratamientos a base de algas marinas, humus de lombriz representan opciones ecologícas utilizadas para mejorar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. El presente estudio se realizó en el Tecnológico Nacional de México campus Roque, durante el ciclo agrícola 2025–2026, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes tratamientos de fertilización sobre la altura de planta y rendimiento de grano en nueve líneas avanzadas de triticale y tres testigos: un triticale comercial *(× Triticosecale Wittmack*), trigo (*Triticum aestivum*) y centeno (*Secale cereale*). El experimento se estableció bajo condiciones de campo utilizando un diseño experimental de parcelas subdivididas con tres repeticiones, considerando aplicaciones de extractos de algas marinas, humus de lombriz y fertilización química convencional. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos y genotipos, destacando los tratamientos orgánicos, los cuales, favorecen a un mayor vigor vegetativo y mejor estado nutricional en algunas líneas de triticale. Por otra parte, el tratamiento químico presentó respuestas rápidas en crecimiento, aunque con menor estabilidad fisiológica en comparación con los tratamientos orgánicos. En general, el uso de algas marinas y humus de lombriz mostró potencial como alternativa sostenible para la producción de triticale en la región del Bajío.

Palabras clave: *Triticale Wittmack*, humus de lombriz, fertilización química, Bajío.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE MICROORGANISMOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.)

Cid Aguilar-Carpio[1]; Yessica Flor Cervantes Adame[2*]; Adriana Pérez-Ramírez[2]; José Alberto Salvador Escalante-Estrada[1]

[1]Posgrado de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. [*2]Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Ayala, Morelos, México. *Autor de correspondencia: yessica.cervantes@uaem.mx

RESUMEN

La albahaca es una planta aromática y medicinal, que puede ser una alternativa de producción en condiciones de invernadero, por ser económicamente importantes, debido a la demanda en los mercados, por ende, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes microorganismos en asociación con fertilizantes químicos sobre la producción de albahaca bajo. El estudio se realizó en Xalostoc, Morelos, México. El cultivo utilizado fue albahaca Nufar en donde se aplicaron dos microorganismos al suelo, *Rizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en asociación con un fertilizante químico (Nitrofoska). Para evaluar el crecimiento del cultivo se realizó un muestreo destructivo a los 35 días después del trasplante; en donde se midió el área foliar, peso seco y fresco, altura de la planta y peso de la raíz. A las variables se les realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey. El mayor peso fresco se logró con la fertilizante químico en asociación con *A. brasilense*. Para la altura de la planta se observó que *R. irregularis* solo y en mezcla con el fertilizante químico presento los valores más altos. En el peso de la raíz, la mejor respuesta fue obtenida con el fertilizante químico. La fertilización química en combinación *R. irregularis* genero el mayor peso seco y área foliar. De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere emplear microorganismos para obtener un mayor crecimiento y producción de albahaca.

Palabras clave: *área foliar, biomasa, planta medicinal, producción.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFICIENCIA DE CEPAS DE *Trichoderma harzianum* EN TOMATE CULTIVADO EN SUSTRATOS CON DISTINTA GRAVIMETRÍA

Georgina Ivette Rodríguez Muñoz[1]; Juan G. Ramírez Pimentel[1*]; Erika Cañada Coyote[1] ; Cesar L. Aguirre Mancilla[1]; Leandris Argentel Martínez[2] ; Mariano Mendoza Elos[1] ; Felipe de Jesús Martínez Gaspar

[1]Tecnológico Nacional de México/I.T. Roque, Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110. [2]Tecnológico Nacional de México/I.T. Valle del Yaqui, Bácum, Sonora, México, C.P. 85265.

*Autor de correspondencia e-mail: juan.rp@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El sustrato es elemento fundamental para el anclaje y fijación de las raíces, las protege y permite su respiración, contiene agua y nutrientes que la planta necesita, la elección de un sustrato adecuado es esencial para el buen desarrollo del microbioma. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de tomate saladette Toronto de crecimiento indeterminado, inoculadas con cepas de *Trichoderma harzianum* THR1R01 (nativa), ThR14, ThR21, ThR24. cultivadas en sustrato con distintos diámetros de partícula (<4 mm y >5 mm), las plantas fueron inoculadas a una concentración de 1×10^9 conidios mL^{-1} a los 45 días después de la siembra en condiciones de invernadero, a una temperatura promedio de 29º C y una humedad relativa de 39%. Se evaluaron las variables agronómicas altura de planta, diámetro de planta, número de hojas, peso seco y peso fresco de planta. Se realizó un análisis estadístico con un diseño completamente al azar trifactorial, se observó que las plantas inoculadas con la cepa ThR21 presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), los resultados indican que las plantas inoculadas con cepas de *T. harzianum* en sustrato con tamaño de partícula (>5 mm) tuvo mayor eficiencia, lo que se relaciona a la modulación de la interacción planta–microorganismo, al influir sobre las condiciones físicas de la rizosfera y el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate.

Palabras clave: *Granulometría, sustratos, Trichoderma harzianum, bioestimulación*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ELABORACIÓN TÉCNICA DE BOKASHI FERMENTADO PARA MEJORAR LA FERTILIDAD AGRÍCOLA SUSTENTABLE DEL SUELO

Maria Guadalupe Alvarado Pescador[1]; Franco Vadillo Elisa[2]; Hernandez Pescador Paula Itzel[1]; López Orozco Ma. de Lourdes2 y Flores Medina Josue Antonio[1]

[1]Estudiante de Agronomía/InstitutoTecnológico de Roque; [2] Profesor-Investigador del Instituto Tecnologico de Roque

RESUMEN

La degradación del suelo y el uso excesivo de fertilizantes quimicos representan una problemática importante para la agricultura, debido a la disminución de la materia orgánica y al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El objectivo de esta investigacion fue elaborar bokashi fermentado mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos y evaluar su importancia como alternativa sustentable para mejorar gradualmente la fertilidad del suelo. La investigación se desarrolló bajo un enfoque técnico-aplicado con orientación agroecológica en las instalaciones del Tecnológico Nacional de Roque. Para la elaboración del bokashi se utilizaron estiércol de bovino, suero de leche dulce, ceniza, melaza, agua, levadura, materia orgánica vegetal y roca fosfórica comercial. El proceso de fermentacion se realizo durante aproximadamente 22 a 25 dias bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y oxigenacion, mediante volteos periodicos y monitoreo manual. Durante el proceso se observaron cambios fisicos y biologicos asociados a la fermentacion aerobia, como incremento de temperatura, modificacion de coloracion y estabilizacion gradual del material. Asimismo, un analisis de referencia realizado a una composta tipo bokashi, elaborada bajo condiciones similares de fermentación, se identificó presencia de materia orgánica y nutrientes minerales importantes como fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los resultados obtenidos permitieron identificar la viabilidad técnica del bokashi como biofertilizante orgánico y su potencial dentro de prácticas de agricultura sustentable y regeneracion de suelos.

Palabras clave: *bokashi, biofertilizante organico, fermentación aeróbica, fertilidad del suelo, residuos organicos*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EMERGENCIA Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EN GENOTIPOS DE FRIJOL

Sara C. Quintero Vallejo[1]; Francisco Cervantes Ortiz[1*]; José F. Rodríguez Rodríguez[2]; J. Guadalupe García Rodríguez[1]; Diego M. Badillo García[1]

[1]Instituto Tecnológico de Roque, Carretera-Juventino Rosas Km. 8 Celaya Guanajuato. [2]INIFAP-CIRCE, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende. Km. 6.5 Celaya, Guanajuato.
*Autor de correspondencia: francisco.co@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La clorofila es un pigmento capaz de captar fotones de luz solar de diferentes colores y convertirlos en compuestos orgánicos ricos en energía. Está demostrado que una mayor capacidad de asimilación fotosintética por parte de la planta se expresa en una alta productividad. El objetivo de este trabajo fue evaluar concentraciones de clorofila en dos etapas para genotipos de frijol, así como emergencia en campo. Se utilizaron cinco variedades: Flor de Junio, Flor de mayo, Pinto saltillo, Pinto texano y Pinto rarámuri que fueron establecidos bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Las variables registradas fueron emergencia a los 9 y 15 días posteriores a la siembra y concentración de clorofila a los 36 (etapa vegetativa) y 66 (floración) días después de la emergencia en unidades SPAD. El análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre genotipos para la emergencia en campo en los dos recuentos realizados. En concentración de clorofila hubo diferencias estadísticas significativas en los dos momentos de medición. En este sentido, las variedades Rarámuri y Pinto Saltillo fueron consistentes con la mayor concentración de clorofila en ambas etapas de evaluación, este comportamiento pudiera estar relacionado con una mayor capacidad fotosíntetica y mayor potencial de rendimiento.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris, emergencia, índice de clorofila*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ESTANDARIZACIÓN DE UN BIOENSAYO CON *Tenebrio molitor* PARA EVALUAR HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

Valeria Michel Mañon-Mozqueda[1]; Brenda Zulema Guerrero-Aguilar[2], Jorge Covarrubias-Prieto[3]; César Leobardo Aguirre-Mancilla[3]

[1]Estudiante de posgrado, Tecnológico Nacional de México-Roque, [2]INIFAP-Campo Experimental Bajío, [3] investigador Tecnológico Nacional de México-Roque, Correo: valeria.mozqueda1998@gmail.com

RESUMEN

Los hongos entomopatógenos son una alternativa biológica para el control de plagas. *Tenebrio molitor* se utiliza como organismo modelo en bioensayos, por su fácil manejo y susceptibilidad. Sin embargo, el método de inoculación y las condiciones de mantenimiento afectan la reproducibilidad experimental. Por ello, se planteó el objetivo: estandarizar un bioensayo con larvas de *T. molitor* para la evaluación de hongos entomopatógenos. Se utilizaron larvas de tercer estadio mantenidas con avena y zanahoria. Se probaron dos vías de inoculación: inmersión (suspensión de esporas 1×10^6 conidios/mL durante 10 s) y aspersión. 0.5 a 5 µL por larva en cabeza, tórax y abdomen. Volúmenes >10 µL causaron mortalidad por humedad. Se evaluaron exposiciones de 24, 48 y 72 h y temperaturas de 22, 25 y 28 °C. Se incluyeron controles absolutos (sin inocular) y controles negativos (agua estéril + Tween 80 al 0.01 %). La mortalidad se registró durante 7 días, considerando falta de movimiento y oscurecimiento corporal. Cada tratamiento se realizó por triplicado con 5 larvas por réplica (n=15, prueba piloto). La aspersión permitió menor mortalidad larval asociada a humedad en comparación con la inmersión. La temperatura óptima fue 25 °C. En los controles absolutos (n=15) no hubo mortalidad. En los controles negativos iniciales (n=15), la mortalidad fue del 20% (3 larvas) asociada a exceso de humedad. El uso de recipientes ventilados, Tween 80 al 0.01 % y volúmenes reducidos (≤5 µL) disminuyó la mortalidad en controles negativos a <5 % (0-1 larva por cada 15), mejorando estabilidad experimental. Se estableció un bioensayo reproducible para evaluar la patogenicidad de hongos entomopatógenos aislados de suelos de Guanajuato.

Palabras clave: Tenebrio molitor, hongos entomopatógenos

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE ACEITES ESENCIALES COMO CONTROL DEL GORGOJO DE FRIJOL

Angélica M. López Ledesma[1]; José F. Rodríguez Rodríguez[2*]; Sara C. Quintero Vallejo[1]; Diego A. Perez Lucio[2]; Francisco Cervantez Ortiz[1]; Christopher Andrade Rico[1]

[1]Técnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Carretera-Juventino Rosas Km. 8 Celaya Guanajuato. [2]INIFAP-CIRCE, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende. Km. 6.5 Celaya, Guanajuato. Autor de correspondencia: *francisco_azu@live.com.mx

RESUMEN

En el estado de Guanajuato anualmente se siembra frijol en alrededor de 75,000 ha. En la entidad los principales factores que limitan su producción son plagas tanto en campo como en almacén. De entre las plagas que atacan a la semilla de frijol una de las más comunes es *Zabrotes subfasciatus* (Boh), una alternativa para control de plagas en semilla almacenada es la aplicación de aceites esenciales. El objetivo de este proyecto fue evaluar el porcentaje de mortalidad de gorgojo de frijol causado por la aplicación de aceites esenciales. Se utilizó una dosis de 0.5 ml de aceite de canela, menta, romero y lemon grass en semilla de frijol de variedades Pinto Texano y Flor de junio. Cada unidad experimental constaba de un recipiente con 50 semillas dentro previamente tratadas y 10 gorgojos. Por cada aceite se realizaron 4 repeticiones por genotipo. Posteriormente se realizó un conteo de mortalidad a los 4 y 11 días. Como resultados se obtuvo que el aceite que presentó mayor mortalidad en ambos conteos fue el de canela con una mortalidad de 94.2%a los 4 días, del mismo modo lemon grass, romero y menta demostraron una gran efectividad biológica a los 11 días de ser aplicado, con 91.7%, 86.1% y 74.1% de mortalidad respectivamente. En conclusión, el aceite de Canela demostró ser el de mejor efectividad presentando mayor porcentaje de mortalidad en menor tiempo.

Palabras clave: *Menta, lemon grass, gorgojo.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE MUTANTES DE CHILE JALAPEÑO TOLERANTES A ESTRÉS HÍDRICO EN INVERNADERO: EFECTOS ANTIOXIDANTES Y FENOLES TOTALES

Luis Enrique Rivera-Alvarez[1]; Felipe de Jesús Martínez-Gaspar[1]; María Isela Flores-Reyes[2]; Jorge Covarrubias-Prieto[1]; César L. Aguirre-Mancilla[1*]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. [2]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Bajío. Km6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende Celaya, Guanajuato. C.P. 38110 *Autor de correspondencia: cesar.am@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El cambio climático intensifica sequías, reduce disponibilidad hídrica y rendimiento, favoreciendo plagas y alterando procesos fisiológicos y bioquímicos en los cultivos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en mutantes de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) tolerantes a estrés hídrico en invernadero. La evaluación se realizó bajo un diseño completamente al azar. Los tratamientos se sometieron a estrés hídrico controlado durante 15 días, incluyendo un testigo, con repeticiones independientes. Los frutos en madurez comercial fueron recolectados, liofilizados y sometidos a extracción para determinar la capacidad antioxidante mediante DPPH y compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu. Los datos se analizaron mediante ANAVA y comparación de medias (Tukey α 0.05) utilizando el paquete Statistix 10. El contenido de compuestos fenólicos totales osciló entre 8 y 13 mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra seca. La capacidad antioxidante determinada por DPPH mostró porcentajes de inhibición de radicales libres entre 30 y 77 %, valores considerados de un rango medio a alto. La capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox presentó valores entre 11 y 29 µmol ET g^{-1} de muestra seca, lo que confirma una alta actividad antioxidante en los frutos evaluados. La capacidad antioxidante superó valores reportados, sugiriendo mutaciones que incrementan la acumulación de compuestos antioxidantes en los genotipos evaluados.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., estrés hídrico, capacidad antioxidante.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DEL COSTO-BENEFICIO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOMBRICOMPOSTAS PROVENIENTES DE RESIDUOS DOMICILIARIOS, EXCRETAS DE CHIVO Y VIRUTA

Suriel E. Flores Cruz[1]; Manuel Huerta Lara[1]; Omar Romero Arenas [1]

[1]Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Autor de correspondencia: suriel.e.f.c@gmail.com

RESUMEN

La relación costo-beneficio expresa los beneficios netos a lo largo de la vida útil del proyecto por unidad monetaria invertida. El lombricompostaje es una biotecnología de fácil implementación y bajo costo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades físicas, químicas, biológicas y la C/B de diferentes proporciones de residuos orgánicos domiciliarios (ROD) y excretas de chivo y viruta (EV) producidas con E. fetida: se establecieron cinco tratamientos con cinco repeticiones (T1 = 100 % EV, T2 = 100 % ROD, T3 = 75 % ROD + 25 % EV, T4 = 50 % de cada uno y T5 = 75 % EV + 25 % ROD, la unidad experimental fueron cajas plásticas de 18 x 50 x 30 cm con 15 kg de residuos), considerando los costos de producción, rendimientos y venta de lombricomposta y pie de cría, posteriormente se realizó la prueba ANOVA ($p \leq 0.05$). La evaluación se sustenta en la NMX-AA-180-SCFI-2018, que establece los grados de calidad según la pureza del material para su comercialización nacional. El T3 presentó mayor riqueza nutrimental (CE 3.19 dS/m, P 0.83 %, Ca 2.84 % y Mg 0.70 %), los mejores rendimientos y la mejor relación C/B (1.009), así como los mejores grados de calidad (extra y segunda).

Palabras clave: Lombricomposta, *E. fetida*, Evaluación económica

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN SEMILLAS DE MAÍZ CRIOLLO MEDIANTE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

José de J. Godoy Fajardo[1]; Eva L. León Arreguin[2*]; Francisco Chablé Moreno[2]; Emmanuel Pichardo Jaime[1]; J. G. García Rodríguez[2]; Amalio Santacruz Vera[3]

[1]Estudiante Instituto Tecnológico de Roque, [2]Instituto Tecnológico de Roque, [3]Colegio de Posgraduados. Autor de correspondencia *lizbetharreguin.leon@gmail.com

En México, la conservación de semillas criollas de maíz es fundamental para la seguridad alimentaria, la diversidad genética y la preservación cultural. Estas semillas son el resultado de procesos de selección realizados por agricultores durante generaciones, lo que ha permitido el desarrollo de genotipos adaptados a diversas condiciones ambientales. Sin embargo, su calidad fisiológica puede verse afectada por condiciones inadecuadas de almacenamiento, lo que provoca su deterioro y compromete su viabilidad, vigor y capacidad de germinación. Por ello, las pruebas de envejecimiento acelerado constituyen una herramienta útil para simular el deterioro en un periodo corto, al someter las semillas a condiciones controladas de alta temperatura y humedad, permitiendo evaluar su longevidad y comportamiento fisiológico. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad fisiológica de semillas de maíz criollo mediante pruebas de envejecimiento acelerado. El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de semillas del TECNM campus Roque, bajo condiciones controladas a 45 °C durante 24, 48, 72 y 96 horas, incluyendo un testigo a temperatura ambiente. Se evaluaron dos genotipos (Rojo Xichú y Blanco Campeche), determinando el vigor mediante pruebas de germinación estándar después de cada periodo de envejecimiento. Los resultados mostraron que Blanco Cam presentó los valores más altos de vigor y germinación (92 y 93 %), en contraste con Rojo Xichú (82 y 83 %). El envejecimiento acelerado redujo progresivamente estas variables conforme aumentó el tiempo de exposición, alcanzando una disminución de hasta 20 %. Se concluye que el envejecimiento acelerado afecta negativamente la calidad fisiológica de las semillas, y que Blanco Campeche mostró mayor tolerancia al deterioro.

Palabras clave: *vigor, germinación, semilla*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE *Bacillus sp.*, EN PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN ESTRÉS HÍDRICO

Nancy Peña-Francisco[1]; Cesar L Aguirre-Mancilla[2]; Felipe de J Martínez-Gaspar[2]; Jorge Covarrubias-Prieto[2]; Gabriela Gonzalez-Gonzalez[2]; Glenda M Gutiérrez-Benicio[2]*.

[1]Estudiante de maestría en ciencias en Biotecnología Agroalimentaria TecNM-campus Roque. [2]TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato. *Autor de correspondencia: *glenda.gb@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*), representa gran importancia alimentaria, debido a que aporta macro y micronutrientes de alto valor nutricional en la salud humana. En este contexto, el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) muestran un alto interés como estrategia sostenible, debido a estudios que demuestran que la inoculación de *Bacillus* spp. destaca en favorecer el desarrollo morfológico vegetal. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de una cepa de *Bacillus spp.* en el desarrollo morfológico de plantas de frijol común, promoviendo el uso de bacterias benéficas como estrategia sostenible. Se estableció un diseño experimental multifactorial, con un tratamiento y un testigo, cada uno con cinco repeticiones. Se inoculó Bacillus sp. en la germinación y trasplante de semillas, posteriormente se realizó una tercera inoculación a los 15 días de germinación de las semillas. Las plantas se sometieron a sequía en etapa vegetativa (V4) y reproductiva (R6), como testigo se empleó plantas en riego y se midieron las variables morfológicas: biomasa, número de trifolios, altura de planta, número de nudos, número de vainas y altura de dosel. Los resultados mostraron incremento en biomasa y número de vainas en plantas sometidas a sequía. En conclusión, *Bacillus sp.* puede mejorar el desarrollo de cultivos de frijol en estrés hídrico, lo que representa una alternativa viable para la agricultura sostenible.

Palabras clave: *Bacillus sp.*, *Phaseolus vulgaris, Morfología.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN FENOTÍPICA TEMPRANA DE GENOTIPOS DE MAÍZ DE DISTINTA BASE GENÉTICA

Paola Gaytán Jiménez[1]; Francisco Cervantes Ortíz[1]; Diego M. Badillo García[1*]; José F. Rodríguez Rodríguez [2]; J. Guadalupe García Rodríguez[1]; Yuliana Martínez Bustamante[1]

[1]Tecnológico Nacional de México-Campus Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas. Km 8, Celaya, Gto., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Km 6.5, Celaya, Gto., México. *Autor de correspondencia: dg809018@gmail.com

RESUMEN

La producción de maiz en México se estima en 27.5 millones de toneladas, cubriendro 48.9% del consumo interno. La productividad del cultivo de maíz depende del establecimiento inicial y la eficiencia fotosintética, variables influenciadas por la diversidad genética. El objetivo fue evaluar la emergencia, vigor visual (VV) y clorofila en maíces de diferente base genética. Se evaluaron 10 genotipos de maíz proporcionados por el Departamento de Mejoramiento Genético del Instituto Tecnológico de Roque y del INIFAP, los cuales fueron sembrados bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. A los 14 días posteriores a la siembra se evaluó la emergencia y el VV, la clorofila en unidades SPAD fue registrada en etapas V3 y V6. Los resultados muestran que en emergencia los materiales que destacaron fueron: V-322 (59.26%) y Roque 2020 (56.48%). Para VV sobresalieron Roque 2015, TNM-311, Celaya-X-TNM-87-Caiman y Cimarrón. En la etapa V3, Celaya-X-TNM-87-Caiman presentó el mayor contenido de clorofila con 47.70 unidades SPAD, mientras que, en V6 destacaron Celaya, Celaya-X-TNM-87-Caiman y Cafime reportaron los valores más altos de unidades SPAD que van de 39.83 a 40.50. Por lo que se puede concluir que los materiales V-322 y Roque 2020 destacaron siendo óptimos para la emergencia, mientras que, Celaya-X-TNM-87-Caiman demostró mejor vigor visual y mayor índice de clorofila en las etapas V3 y V6.

Palabras clave: *Zea mays,* Mejoramiento genético, Genotipo.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN FISIOLÓGICA DE CLOROFILA Y VIGOR VEGETATIVO EN HÍBRIDOS SIMPLES DE MAÍZ BLANCO EN V6 Y V9

Josue Paulino Rivera Muñoz[1]; Francisco Cervantes-Ortíz[2]*; Ana Karen Navarrete-Muñoz[3]

[1]Estudiante licenciatura del Tecnológico de México-Roque; [2] Investigador del Tecnológico Nacional de México-Roque;[3]Estudiante de posgrado del Tecnológico de México-Roque; *Autor de correspondencia: francisco.co@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue analizar la cantidad de clorofila y la apariencia visual en híbridos simples de maíz blanco durante las fases vegetativas V6 y V9. El experimento se llevó a cabo en las parcelas experimentales del Tecnologico de Roque, con una siembra manual en seco que se realizó en marzo de 2026. Se estudiaron híbridos provenientes de combinaciones entre variedades de maíz blanco bajo un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. La fertilización aplicada consistió en 240-60-0 utilizando urea y MAP. Las prácticas agronómicas incluyeron el deshierbe manual, la aplicación de nicosulfurón y el control del gusano cogollero con Clavis®. La medición de clorofila se llevó a cabo en las etapas V6 y V9, además de una escala adaptada para evaluar el vigor visual: 1= nulo, 3= malo, 5= bueno y 7= excelente. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre los híbridos simples en cuanto al contenido de clorofila, mientras que las variaciones en vigor visual fueron menos evidentes entre los tratamientos analizados.

Palabras clave: *maíz, clorofila, híbridos simples, vigor visual, etapas vegetativas.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN *IN VITRO* DE SPINOSAD ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS DE SILICIO PARA EL CONTROL DE LA PALOMILLA DORSO DE DIAMANTE

Beatríz García Rodríguez[1]; José F. Rodríguez Rodríguez[2]; Yisa M. Ochoa Fuentes[3]; Claudia J. Tierrablanca León[1]; Jazmín J. Velázquez Guerrero[3]; Juan F. Rodríguez Trejo[1]

[1]Tecnologico Nacional de México/Instiuto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km. 8. Celaya, Gto. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel Allende, Km. 6.5, Celaya, Gto. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo Coah. *francisco_azul@live.com.mx

RESUMEN

El brócoli es uno de los cultivos más importantes en la región del bajío en México, llegando a aportar más del 60% de la producción nacional, sin embargo, dicha producción se ve comprometida por la presencia de *P. xylostella*; su principal daño se basa en la contaminación por larvas y pupas en el producto comercial, lo que hace que este sea rechazado al momento de su comercialización. La principal estrategia utilizada por los productores es el control químico, sin embargo, esta plaga desarrolla resistencia en pocas generaciones, por lo que, es necesario buscar alternativas que incrementen la efectividad de los productos químicos, una opción son las nanopartículas, las cuales se ha reportado que incrementan la eficiencia de los insecticidas. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el impacto de nanopartículas de silicio en la actividad de insecticida de spinosad. Se realizaron bioensayos por el método 018 propuesto por el IRAC evaluando dos tratamientos: spinosad y spinosad+nanopartículas de silicio. El tratamiento de Spinosad presenta una CL_{50} de 24.719 ppm, por su parte, spinosad+nanopartículas de silicio reportó una CL_{50} de 61.805 ppm, presentando una reducción de 2.50 veces. Se puede concluir que las nanopartículas de silicio en combinación con spinosad disminuye la efectividad biológica del insecticida.

Palabras clave: *Silicio, spinosad, mortalidad.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE FRESA SUPLEMENTADAS CON ILUMINACIÓN LED

Martha J. Diosdado-Montenegro[1]; María I. Laguna-Estrada[1]; Ana E. Rangel-Castillo[1]; Jesús Hernández-Ruiz[1]; Yesica Rendon-Aquino[2]; Jorge E. Ruiz-Nieto[2]

[1]Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato-Silao km 9, Irapuato, Guanajuato. [2]Berrie Gene Innovation. Bahía de Santiago 381, Villa de Álvarez Colima, Colima. Autor responsable: jorge.ruiz@ugto.mx

RESUMEN

Evaluar la suplementación con iluminación LED es esencial, ya que puede elevar la tasa fotosintética y la producción de frutos en fresas. Esta tecnología optimiza espectros lumínicos específicos, pero requiere nueva información científica para un manejo preciso de la luz. El objetivo del presente estudio fue realizar la evaluación productiva y fisiológica de plantas de fresa suplementadas con iluminación LED. Se emplearon plantas de fresa variedad San Andreas cultivadas en invernadero y suplementadas diariamente durante 3 h con paneles LED de espectros rojo, azul, verde, violeta y blanco. Las variables morfológicas, fisiológicas y productivas se analizaron mediante un diseño completamente al azar con prueba de Tukey, análisis de componentes principales y K-medias para agrupar tratamientos. Los espectros violeta y rojo promovieron el crecimiento vegetativo, al aumentar el área foliar, la concentración de clorofila y carotenoides, adelantar la floración, y elevar el número, calidad, peso fresco y rendimiento de frutos por planta. En contraste, la luz azul redujo la fotosíntesis, el área foliar, el contenido de clorofila, número de frutos y rendimiento, además de retrasar el desarrollo reproductivo. El análisis de componentes principales explicó más del 99% de la variación, agrupando violeta y rojo como los más eficientes, y separando azul por su efecto negativo. Estos resultados confirman que la manipulación del espectro lumínico optimiza la fisiología y productividad en fresa, al aumentar la eficiencia fotosintética y la uniformidad del desarrollo en agricultura intensiva.

Palabras clave: Fragaria x ananassa, fisiología vegetal, agricultura protegida, automatización.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL EN PRODUCCIÓN PROTEGIDA Y ALMACENAMIENTO POSCOSECHA DE *Solanum lycopersicum*

Ma. Cristina Vázquez-Hernández[1*]; Francisco Javier Corona-García[2]; Luis A. Noriega-González[1]; Carlos A. Flores-Gómez[1]; Ma. Maricela Caballero Palacio[1]; Georgina del Carmen Mota-Valtierra[3]

[1]Cuerpo Académico de Innovación en Bioprocesos Sustentables. [2]Estudiante. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 30110, Roque, Celaya, Guanajuato, México. [3]Facultad de Ingeniería. Ingeniería Biomedica. Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Aeropuerto. Carr. a Chichimequillas S/N, Ejido Bolaños. C.P. 76140 Santiago de Querétaro, Qro. *Autor de correspondencia: ma.vh@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El jitomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme) ha ganado popularidad en el mercado debido a sus características sensoriales y su tamaño para el consumo. Destaca en el mercado por ser uno de los cultivos con mayor tecnificación y rentabilidad, según datos del SIAP (2020), en México alcanzó aproximadamente una producción superior a 133,000 toneladas. La producción y comercialización de este fruto requiere prácticas rigurosas de manejo para garantizar su calidad, seguridad y rentabilidad. La mitigación de riesgos biológicos, químicos y físicos es fundamental para proteger la salud del consumidor y mantener la integridad del mercado. Ante la vulnerabilidad de este cultivo a contaminantes biologicos (*E. coli, Salmonella,* Trips, Mosquita blanca*, etc.*), químicos (Residuos de pesticidas), y físicos (Materia extraña), en el presente proyecto se realizó un análisis de los peligros y puntos críticos de control (HACCP por sus siglas en inglés) para identificar y asegurar la gestión adecuada de la inocuidad, minimizando el riesgo de contaminación en el producto cultivado en la empresa Veggie Prime. Los resultados mostraron que con la implementación del HACCP fueron identificados los riesgos en la línea de producción y almacenaje. Lo anterior permite cumplir con los requisitos regulatorios y normas establecidos para la exportación de este fruto.

Palabras clave: *Calidad, Contaminación, Inocuidad, Peligros, Seguridad Alimentaria.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

SISTEMA INTELIGENTE PARA EL MONITOREO DE MACRONUTRIENTES EN SUELO DE CULTIVO DE FRESA

Ma. Cristina Vázquez-Hernández[1]; Miguel A. Rojas-Hernández[2]; Xóchilt Siordia-Vásquez[2]; Silvia Barrios-Velázquez[2]; Raúl Alberto Dávila Mar[3], Luis A. Noriega-González[1]

[1]Cuerpo Académico de Innovación en Bioprocesos Sustentables. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 30110, Roque, Celaya, Guanajuato, México.
[2]Cuerpo Académico Innovación Biomimética y Sistemas Inteligentes . [3]Estudiante.. Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Universidad Veracruzana Región Poza Rica Tuxpan. Prolongación Venustiano Carranza S/N. Col. Revolución. Poza Rica Veracruz. C.P. 93390. *Autor de correspondencia: ma.vh@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La determinación precisa de macronutrientes (N, P, K) es un factor determinante para la optimización y el rendimiento en la producción de fresa, un cultivo de alto valor estratégico en la región del Bajío. Esta zona es el motor del sector en México, con una producción anual que supera las 100,000 toneladas tan solo en Guanajuato y que, en conjunto con Michoacán, aporta más del 70% del volumen nacional, consolidando al país como el quinto productor mundial. En este contexto, el presente estudio propone un sistema inteligente diseñado para el monitoreo en tiempo real de la calidad de suelos, esta tecnología cuenta con una tarjeta de desarrollo ESP-WROOM-32 con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, el dispositivo integra un sensor especializado que mide simultáneamente los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, humedad y temperatura. El protocolo de muestreo fue implementado en un macrotunel ubicado en el Municipio de Tarandacuao, Michoacán. La información obtenida se visualizó a través de una aplicación desarrollada en App Inventor. Los resultados mostraron que una alta correlación entre las mediciones con el prototipo desarrollado y los análisis realizados en el laboratorio. Este que contribuye a la soberanía alimentaria al promover una gestión nutricional sostenible y adaptada a las condiciones locales.

Palabras clave: *monitoreo inteligente, sensores de suelo, agricultura de precisión, nutrientes NPK, fresa*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EXPANSIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CULTIVO DE PITAHAYA *(Hylocereus spp.)* EN GUANAJUATO

Griselda Servín Ochoa[1*]; Carolina Hernández-Navarro[2]; Estefana Alvarado Bárcenas[3]; Jorge Covarrubias Prieto[2]; Daniel Rodríguez Mercado[4]; Raúl René Robles Lacayo[4]

[1]Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., México. [2]División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM–IT Roque, Celaya, Gto., México; [3]Depto. Ciencias Agropecuarias, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque Ext. Apaseo el Alto, Gto., México. [4]Depto. Ciencias Agropecuarias, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., México. Autora de correspondencia: greysgol@gmail.com

RESUMEN

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) se ha posicionado como un cultivo emergente con potencial para diversificar la producción agrícola en regiones semiáridas de México. En este trabajo se analizó la expansión reciente del cultivo en el estado de Guanajuato y caracterizar su distribución territorial, así como algunos rasgos sociodemográficos y técnicos de los productores. Se realizó un levantamiento de información mediante encuestas dirigidas a productores activos del estado, registrando variables relacionadas con la ubicación geográfica de las parcelas, año de establecimiento del cultivo, edad y género de los productores, variedad cultivada, sistema de producción y tipo de riego. Con esta información se elaboró un mapa de municipios productores y se generaron análisis descriptivos sobre la adopción del cultivo entre 2019 y 2024. El análisis muestra que la pitahaya se encuentra distribuida en 14 municipios del estado, con mayor presencia en la región sur; así como un incremento en la incorporación de nuevos productores durante el periodo analizado, reflejando un proceso reciente de expansión del cultivo. La edad promedio de los productores fue de 49 años, predominando el grupo de 50 a 59 años; en cuanto al género, el 87.1% corresponde a hombres y el 12.9% a mujeres. En términos productivos, la variedad más cultivada fue la de pulpa blanca (*H. undatus*), predominando el sistema de traspatio y el riego por goteo. Los resultados muestran que la pitahaya se encuentra en una fase temprana de consolidación en Guanajuato y representa una alternativa viable para la diversificación productiva en el Bajío.

Palabras clave: *pitahaya, Guanajuato, diversificación, cactáceas, frutales*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

POTENCIAL DE *Chlorella vulgaris* PARA REMOVER CONTAMINANTES DE AGUA RESIDUAL DE ESTANQUES ACUÍCOLAS

Carlos A. Flores-Melesio[1]; Juan G. Ramírez-Pimentel[2]; David A. Flores-Méndez[3], Luis A. Noriega-González[1] y Carlos A. Flores-Gómez[2]*

[1]Depto. de Ciencias Agropecuarias I.T. Roque; [2]División de Estudios de Posgrado e Investigación, I.T. Roque; [3]Depto. de Ingeniería Química I.T. Celaya. Autor de correspondencia: *carlos.fg@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La piscicultura representa una actividad productiva de gran importancia para la seguridad alimentaria; sin embargo, genera efluentes con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal (NH_4^+/NH_3), debido principalmente a la excreción de los peces y la descomposición de alimento no consumido, estos compuestos amoniacales pueden ser tóxicos y afectar severamente la salud de los peces. La acumulación de amonio en cuerpos de agua puede provocar efectos negativos, por lo que resulta necesario desarrollar alternativas de tratamiento de estas aguas residuales que sean efectivas, económicas y viables. En este contexto, las microalgas como han mostrado potencial para remover compuestos nitrogenados mediante su metabolismo fotosintético, además de generar biomasa aprovechable. El presente trabajo evaluó el potencial de *Chlorella vulgaris* para la remoción de nitrógeno amoniacal en agua residual proveniente de estanques de piscicultura, mediante un diseño experimental que consideró como factores principales la concentración inicial de amonio, el fotoperiodo. Los tratamientos fueron monitoreados durante varios días, registrando el crecimiento de biomasa (mg S.S./L) y la concentración de amonio (mg/L), con el objetivo de obtener cinéticas de crecimiento y de consumo de nutrientes. Los resultados mostraron que *C. vulgaris* presenta crecimiento en la mayoría de los tratamientos. El fotoperiodo manifestó un efecto significativo sobre el incremento de la biomasa. En general se observó una reducción de los compuestos amoniacales, especialmente a determinadas concentraciones evaluadas. La implementación de esta tecnología, mostró un potencial adecuado para reducir el consumo del recurso hídrico, habilitando la recirculación de agua, contribuyendo hacia una acuicultura sostenible.

Palabras clave: *Chlorella vulgaris, contaminantes, estanques acuícolas*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

HIDROGEL SUPERABSORBENTE PARA OPTIMIZAR AGUA Y NUTRIENTES EN SUELOS AGRÍCOLAS

Javier Pérez-Inocencio[1*]; Miguel A. Aguilar-Mendez[2]; Jorge A. Ramos-Frutos[1]; Susana J. Santoyo-Murguia[1]; Jorge Canela Gómez[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Jiquilpan, Jiquilpan Michoacán, C.P. 59510. [2]Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, C.P. 11500. Autor de correspondencia: javier.pi@jiquilpan.tecnm.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue sintetizar y evaluar un hidrogel superabsorbente (SAP) a base de biopolímeros como sistema de liberación controlada de nutrientes y mejorador de la retención hídrica del suelo. En la primera fase, se formularon hidrogeles utilizando almidón, carboximetilcelulosa sódica (NaCMC) y gelatina, con ácido cítrico como agente reticulante, evaluando proporciones (1:1, 2:1 y 1:2 p/p) y pH (3, 6 y 10). La combinación óptima fue almidón–NaCMC (2:1) a pH 3. Este material presentó una capacidad de absorción de agua (SAR) de 3.3 g g^{-1} (cargado) y 3.0 g g^{-1} (sin carga), con retención de hasta 330% de su peso seco. En la segunda fase, el hidrogel se cargó con una solución de fertilizantes y se evaluó la liberación de NO_3^-, Ca^{2+} y K^+ durante 48 h. Las concentraciones de liberación acumulada respecto a la carga inicial fueron de 329 ppm para NO_3^-, 53 ppm para Ca^{2+} y 61 ppm para K^+, evidenciando un comportamiento de liberación controlada. Paralelamente, se determinó la retención de agua en suelo vertisol durante 17 días, observándose un incremento del 8–15% respecto al testigo. La capacidad de campo (CC) se mantuvo por encima de límite por 11 días, lo que representa un aumento de 4 días respecto al testigo, mientras que el punto de marchitez permanente (PMP) se alcanzó 6 días posteriores al tratamiento testigo. En conclusión, este estudio preliminar muestra el hidrogel sintetizado presenta alta capacidad de absorción y retención de agua, así como una liberación gradual de nutrientes, posicionándose como una alternativa viable para optimizar el uso de agua y fertilizantes en sistemas agrícolas.

Palabras clave: *hidrogel, liberación controlada, biopolímeros, retención de agua, fertilización.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

IDENTIFICACIÓN DE LA FENOLOGÍA DE (*Lilium spp.*) EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA SIERRA SUR DE OAXACA

Lucero J García Cruz[1]; Karla G Ruiz Quiroz[1]; Misael Navarro Aparício[1]; Daniel A Olivera Resendiz [1]; Ibeth Cortes Angeles[1]

[1]. Universidad Tecnológica de la Sierra Sur de Oaxaca. Email de correspondencia: garjazmin374@gmail.com

RESUMEN

La floricultura representa una actividad agrícola de alta rentabilidad en México; sin embargo, en el estado de Oaxaca su desarrollo se ve limitado por la baja tecnificación, escaso conocimiento técnico y una producción poco diversificada. A pesar de la demanda creciente de flores ornamentales como *Lilium spp.*, factores bióticos y abióticos afectan su rendimiento, restringiendo su competitividad y aprovechamiento productivo en regiones como la Sierra Sur. Ante esta problemática, el presente proyecto se planteó como una alternativa viable para optimizar la producción mediante la identificación de la fenología y el manejo agronómico adecuado del cultivo. Su importancia radica en generar información técnica local que permita a los productores mejorar sus sistemas de producción, incrementar la calidad del producto y acceder a mercados más exigentes, contribuyendo así al desarrollo económico regional. La metodología se desarrolló bajo condiciones de campo abierto, implementando prácticas como preparación de suelo, siembra controlada, fertirriego, aplicación de bioestimulantes (Agromil Plus y K-45) y monitoreo agronómico. Se evaluaron variables como crecimiento, desarrollo fenológico, número de botones florales y calidad de la flor. Los resultados evidenciaron una adecuada adaptación del cultivo, destacando mejoras significativas en el desarrollo radicular, formación de botones y calidad floral. La aplicación de bioestimulantes mostró efectos positivos desde etapas tempranas. Se concluye que el cultivo de *Lilium spp.* Es técnica y económicamente viable en Oaxaca. Este proyecto es relevante porque impulsa la innovación agrícola, fortalece la floricultura regional y promueve sistemas productivos más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: *bulbos, Lilium spp, Ornamentales.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ÍNDICE DE DESARROLLO DE SEMILLA Y EMBRIÓN DE *Opuntia ficus Indica*

Maricruz Roque-Aguirre[1]; J. Gabriel Ramírez-Pimentel[2]*; Carolina Hernández-Navarro[2]; Juan Carlos Raya-Pérez[2]

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. Roque. Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110
*juan.rp1@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La estructura taxonómica de Opuntia es rica y variada, clasificando más de 300 especies diferentes que se distribuyen principalmente en América. Este género forma parte de la familia Cactaceae, con usos diversos, desde alimentarios, medicinales, biopelículas, adherentes hasta en construcción. La semilla presenta el fenómeno de dormancia, por lo que tradicionalmente se realiza la propagación comercial por la vía asexual con los consiguientes riesgos de la baja variabilidad genética. El objetivo de esta investigación fue generar un índice de desarrollo para la semilla y el embrión de Opuntia ficus-indica (nopal tunero), centrándose en caracterizar la acumulación de lignina y su impacto directo en la dormancia física y fisiológica de la semilla. Para mapear con precisión las etapas ontogénicas, se recolectaron semillas en diferentes estadios de maduración del fruto y se procesaron mediante clareo histológico. La evaluación morfológica y estructural se realizó mediante la toma de micrografías de alta resolución empleando un microscopio de contraste interferencial diferencial (DIC). Las micrografías DIC permitieron delimitar con claridad las fases de diferenciación del embrión y los cambios tisulares en la cubierta seminal (testa). Se identificó que, conforme la semilla avanza en su maduración, entre la etapa 6 y 7 existe una deposición progresiva y densa de lignina en las paredes celulares del endotegmen. Esta acumulación de polímeros fenólicos no solo confiere una notable rigidez mecánica a la cubierta, sino que restringe drásticamente la permeabilidad al agua y el intercambio gaseoso, actuando como la barrera principal que desencadena la dormancia. En conclusión, el uso de microscopía de contraste interferencial demostró ser una herramienta crucial para visualizar la dinámica celular y el endurecimiento de los tejidos de protección, aportando bases teóricas clave para el desarrollo de futuros tratamientos de escarificación que optimicen las tasas de germinación en esta especie.

Palabras clave: Desarrollo de semilla. Lignificación, Dormancia física, Dormancia fisiológica.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

INFLUENCIA DEL ENVEJECIMIENTO ACELERADO EN LA GERMINACIÓN Y EL VIGOR DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

Emmanuel Pichardo Jaime[1]; Eva L. León Arreguin[2*]; J. G. García Rodríguez[2]; Francisco Cervantes Ortiz[2]; José de J. Godoy Fajardo[2]; José F. Rodríguez Rodríguez[3]

[1]Estudiante Instituto Tecnológico de Roque, [2]Instituto Tecnológico de Roque, [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Autor de correspondencia: *lizbetharreguin.leon@gmail.com

RESUMEN

El maíz es uno de los cultivos más importantes en México, por lo que la calidad de su semilla es fundamental para garantizar un adecuado establecimiento del cultivo y buenos rendimientos en campo. La evaluación de la calidad fisiológica de las semillas permite conocer su capacidad de germinación y vigor. Durante el almacenamiento, las semillas experimentan un deterioro natural que puede reducir su viabilidad, por lo que es necesario emplear métodos que permitan estimar su comportamiento en el tiempo, por ello, las pruebas de envejecimiento acelerado consisten en someter las semillas a condiciones controladas de alta temperatura y humedad, con la finalidad de provocar un deterioro rápido que simule el envejecimiento natural. Por lo que el objetivo fue evaluar el porcentaje de germinación de los genotipos de maíz sometidos a distintos periodos de envejecimiento acelerado. El experimento se realizó en el laboratorio de semillas del TECNM Roque, utilizando semillas de los genotipos Roque 2015 y Nuevo Milenio bajo condiciones controladas a 45 °C durante 24, 32, 48, 96 y 120 horas, además de un testigo a temperatura ambiente determinando el vigor mediante pruebas de germinación estándar después de cada periodo de envejecimiento. Los resultados mostraron a Roque 2015 con un vigor y germinación de 91 y 94 %, sin embargo, con el incremento del tiempo, Nuevo Milenio presentó mayor deterioro (hasta un 30%). Se concluye que Roque 2015 tiene mayor tolerancia, lo que sugiere mejor capacidad de almacenamiento.

Palabras clave: *prueba, germinación, vigor, envejecimiento.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

TEORÍA HUMANISTA Y SU AFECTACIÓN A TRAVES DE LAS REDES SOCIALES (CASO ESTUDIANTES IGE-ROQUE)

Luis Manuel Morales Carrillo[1]; Citlali Lopez Aldape[2]; Danna Karen Salinas Cañada[3]; Cristina Meza Juarez[4]; Rodriguez Segura Erik Fabian[5]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instiuto Tecnológco de Roque, Km 8, Carretera-Celaya-Juventino Rosas, C.P.38110Celaya, Guanajuato. Ingeniería en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: L23980771@roque.tecnm.mx

RESUMEN

Sel análizó el impacto de las redes sociales en el desempeño académico y bienestar emocional de estudiantes del TecNM-Roque (periodo enero-marzo 2026), bajo la óptica de la psicología humanista (Rogers y Maslow). El enfoque fue cuantitativo no experimental y un instrumento tipo Likert, se midieron variables de autoestima, autoimagen y autorrealización. Los hallazgos indican que el uso inadecuado de plataformas digitales genera incongruencia entre el Yo real y el Yo ideal, afectando la salud socioemocional. Las redes sociales actúan como entornos determinantes para el desarrollo integral. La psicología humanista destaca la dignidad y la tendencia actualizante del individuo para alcanzar su autorrealización (Maslow, 1980; Rogers, 1990). Las redes sociales funcionan como espacios psicológicos donde los estudiantes del Tecnológico de Roque, construyen su identidad. El análisis de la validación digital (likes/comentarios) puede generar incongruencia entre el Yo real y el Yo ideal, afectando el crecimiento personal. El análisis del entorno digital influye en la psique del estudiante, utilizando la psicología humanista para entender la transición entre la interacción virtual y el bienestar real. El consumo Digital: El 87% de los jóvenes usa redes diariamente; un uso sin límites puede derivar en dependencia o aislamiento. Teoría de Rogers: Postula la tendencia actualizante; el crecimiento depende de la congruencia entre el "Yo real" y las vivencias. Psicología Humanista: Enfoque en la dignidad, la libertad y la capacidad innata de autorrealización del individuo. Salud socioemocional: Bienestar integral y sus emociones impactan directamente en el rendimiento académico. El estudio fue en un diseño de investigación cuantitativo, no experimental y transversal. En escala de Likert de cinco niveles de intencionalidad de observar los fenómenos en su contexto natural para comprender la amplitud numérica y la profundidad de las experiencias de la población de estudiantes. La aplicación de una encuesta cualitativo-cuantitativa no experimental, a través de un Google Forms® que constó con ítems para evaluar actitudes, opiniones o comportamientos, pidiendo a los encuestados califiquen su grado de acuerdo o desacuerdo frente a una afirmación, considerando desde un extremo negativo a uno positivo, permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión (Sampieri, 2018) y con base en en las dimensiones de la Pirámide de Maslow y la Teoría de Carl Rogers.

Palabras clave: e*studiantes, gestión, humanismo, socioemocional.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

LAS MIPYMES Y SU IMPACTO EN LA CERTIFICACIÓN PARA LOS PRESTADORES DE SERVICIOS TURÍSTICOS (CASO CABOS - LA PAZ)

Paola Gallardo Rodríguez[1]; Claudia Marilu Fuentes Gallardo[2]; Laura Cupul Moreno[3]; María Eugenia Gallardo Rodríguez[4]; Wendy Mondragón Moreno[5] y Erik Fabián Rodríguez Segura[6]

[1]Tecnológico Nacional de México Roque. Carr. Celaya-JR, C.P. 38110. Ingenieria en Gestión Empresarial

RESUMEN

Analizar el Programa Moderniza, que es un modelo de gestión de la Secretaría de Turismo de México fue diseñado para mejorar la competitividad y rentabilidad de MIPYMES turísticas. Busca elevar la calidad, la satisfacción del cliente. El análisis se centra en el Programa Moderniza, con cuatro elementos y doce técnicas. El elemento uno habla sobre la calidad humana, donde el objetivo es elevar la productividad y humanizar el trabajo a través de un esquema de trabajo colaborativo y un liderazgo participativo. El elemento dos habla de la satisfacción de los clientes a través de entender el mercado a disposición de la empresa, crear estrategias adecuadas de mercadotecnia, así como una postura de atención adecuada y técnicas de ventas. El elemento tres aborda los procesos eficientes y la reducción de desperdicios, creando una estructura con un alto grado de autonomía en el nivel operativo, la estandarización de procesos y el desarrollo de un sistema de administración y auditoria para el control de las actividades rutinarias. El cuarto busca desarrollar la capacidad para direccionar la empresa y ser cada día mejores a través del establecimiento de la filosofía organizacional. Quinto elemento desde la perspectiva del marketing, ayuda a conocer el mercado de las empresas. Sexto, ayuda a identificar al personal que estará en contacto con el cliente y proporcionarle herramientas para lograr su plena satisfacción. Séptimo busca reconocer que las operaciones de la organización basadas en proceso y la interrelación que llevan a fortalecer el gerenciamiento y desarrollar los equipos de trabajo como la base para el control de los procesos, la optimización de estos mediante el control de los posibles desperdicios. Octavo y noveno busca asegurar mediante el desarrollo de estándares internos de trabajo, que los equipos controlen las rutinas que llevan a cumplir las necesidades del cliente, asegurar el autocontrol de las organizaciones. Décimo, a través de las finanzas básicas, busca aprender a usar herramientas financieras para tomar las decisiones que permitan cuidar el flujo de efectivo y la utilidad de este. Onceavo, integrar sistemas de información en las organizaciones a manera que la dirección cuente con indicadores sólidos en la toma de decisiones. Para desarrollar un verdadero gerenciamiento con base en las cuatro fases del PDCA para que la planeación de cada área sea el resultado del despliegue de las políticas de la empresa. La investigación fue mixta se colectó datos numéricos y descriptivos con la intencionalidad de observar los fenómenos en su contexto natural para comprender la amplitud numérica y la profundidad de las experiencias de la población a través de la aplicación de una encuesta cualitativo-cuantitativa no experimental, a través de un Google Forms® (escala de Likert) evaluar actitudes, opiniones o comportamientos, pidiendo a los encuestados califiquen su grado de acuerdo frente a una afirmación, considerando desde un extremo negativo a uno positivo, permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión.

Palabras clave: *mypimes, control financiero, satisfacción del cliente*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

TRANSFORMANDO EL AGROALIMENTO EN EXPERIENCIAS: DEMANDA TURÍSTICA EN MUNICIPIOS DE SAN BERNARDO Y ARBELÁEZ, COLOMBIA

Astrid Magali Lopez Pulido[1]; Shelcy Valentina Martínez Pachón[2]; María Cristina Velásquez Ardila[3]

[1]Estudiante Administración de Empresas Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Contables, Fusagasugá, Colombia. [2]Estudiante Administración de Empresas Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Contables, Fusagasugá, Colombia. [3]Maestría en Administración de Organizaciones. Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Contables, Fusagasugá, Colombia. Autor de correspondencia: mcvelasquez@ucundinamarca.edu.co

RESUMEN

El turismo rural sostenible se ha consolidado como una estrategia para el desarrollo territorial en regiones con vocación agropecuaria, al generar oportunidades económicas, fortalecer la identidad cultural y promover el uso responsable de los recursos naturales. En Colombia, particularmente en la provincia del Sumapaz, los municipios de San Bernardo y Arbeláez presentan condiciones agroecológicas y productivas favorables para el desarrollo de experiencias turísticas asociadas a la cultura cafetera. No obstante, la ausencia de estudios de mercado orientados a la demanda limita la estructuración de productos turísticos sostenibles en el territorio. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo caracterizar la demanda turística potencial interesada en experiencias asociadas a una ruta cafetera sostenible en estos municipios. Metodológicamente, el estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto de tipo descriptivo, mediante la aplicación de encuestas estructuradas a turistas potenciales, entrevistas semiestructuradas a actores clave y revisión documental. Se analizan variables sociodemográficas, motivaciones de viaje, preferencias, expectativas y disposición de gasto relacionadas con el turismo rural y agroalimentario. Como avance investigativo, se identifica la relevancia de la caracterización de la demanda como insumo fundamental para la planificación estratégica de productos turísticos rurales. Se espera que los resultados contribuyan al diseño de una ruta cafetera sostenible alineada con las dinámicas del mercado, fortaleciendo la competitividad territorial y promoviendo el desarrollo económico local en los municipios de San Bernardo y Arbeláez.

Palabras clave: *agroalimentos, turismo rural, agroturismo, caficultura, sostenibilidad, desarrollo territorial.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE LOS USOS Y COSTUMBRES DE LA GENERACIÓN Z EN EL 2019-2020 Y EL MARKETING DIGITAL

Miriam Centeno Flores[1]; Diana Yarett Zavala Soledad[2]; Nestor Huitzache Alvarado[3]

[1]Tecnológico Nacional de México Roque. Carretera Celaya – Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Carrera; Ingenieria en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: L23980907@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La pandemia de COVID-19 impulsó una rápida transformación digital, obligando a las empresas y emprendedores a adaptarse al uso del marketing digital para mantenerse en el mercado. Este cambio destacó la importancia de comprender las necesidades del consumidor para desarrollar estrategias efectivas que permitan aumentar la visibilidad y las ventas en un entorno digital en constante evolución.

La Generación Z, nacida entre 1995 y 2010, se distingue por la familiaridad que tienen con la tecnología y el uso constante de las redes sociales. Prefieren el contenido visual, breve y autentico, lo que ha influido en las estrategias de marketing digital. Durante la pandemia, el uso de plataformas como Instagram, Tik Tok creció considerablemente, convirtiéndose en medios clave para la interacción entre marcas y consumidores. La investigación se desarrollo con un enfoque mixto, combinando el método cuantitativo y cualitativo. Se realizo un estudio descriptivo y exploratorio mediante encuestas en línea dirigidas a personas mayores de 21 años, con el fin de analizar sus hábitos de consumo digital y el impacto del marketing en sus decisiones de compra. Los resultados muestran que el 50% de os encuestados aumento sus compras en línea tras la pandemia, principalmente por comodidad. Además, Instagram y Tik Tok se posicionaron como las redes sociales más utilizadas para entretenimiento y exposición a publicidad digital. El marketing digital ha crecido significativamente gracias al uso de redes sociales. Aunque existen algunos inconvenientes en las compras en línea, las empresas continúan mejorando sus servicios para adaptarse a las nuevas necesidades de los consumidores digitales.

Palabras clave: *COVID-19, generación Z, marketing digital, redes sociales*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

NANOPARTÍCULAS DE SILICIO SU EFECTO EN LA EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE CIPERMETRINA PARA EL CONTROL DE *Plutella xylostela* L

Osvaldo García Tirado[1]; José F. Rodríguez Rodríguez[2*]; Ernesto Cerna Chávez[3]; Juan F. Rodríguez Trejo[2]; Rocio de J. Díaz Aguilar[3]; Claudia J. Tierrablanca León[2]

[1]Tecnologico Nacional de México en Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km 8. Celaya, Gto. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel Allende, Km.6.5. Celaya, Gto. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro, 1923, Saltillo Coah. *francisco_azul@live.com.mx

RESUMEN

Plutella xylostela L. es una de las plagas mas importantes en los cultivos de crucíferas llegando a provocar perdidas de un 90% sino se tiene un control adecuado. El manejo de este insecto plaga se realiza principalmente con la aplicación de productos químicos, sin embargo, el mal uso de estos llega a generar una serie de desventajas como es la contaminación al medio ambiente, daños a la salud y el desarrollo de poblaciones resistentes; por lo que es necesario buscar alternativas que ayuden a potencializar las estrategias de control, una de ellas es el uso de la nanotecnología, implementando nanopartículas las cuales incrementan la eficiencia de los productos químicos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de nanopartículas de silicio combinados con cipermetrina para el control de *P. xyllostela*. Se realizaron pruebas de efectividad biológica para cipermetrina y la combinación de cipermetrina con nanopartículas de silicio, mediante la técnica de inmersión de hoja. Los resultados muestran que cipermetrina que reporta una CL_{50} de 562.429 ppm, mientras que, la combinación de cipermetrina y silicio presentan una CL_{50} de 1568.145 ppm, presentando una reducción de 2.78 veces. Por lo que se puede concluir que el uso de nanopartículas de silicio disminuye la efectividad biológica de cipermetrina en *P. xylostella.*

Palabras clave: *m*ortalidad, silicio, cipermetrina.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

POROSIDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LAS EMISIONES AGRÍCOLAS DE N_2O

Víctor Manuel Montoya-Jasso[1]*; Jesús Manuel Arreola-Tostado[2]

[1]CarboTellus Solutions. Claustro del Rincón 49, Col. E. Zapata, San Andrés Cholula, Puebla. 72824. [1]Consultoría en Sistemas Agroalimentarios de Biosistemas. Apaseo el Grande 114, Col. Guanajuato, Celaya, Guanajuato. 38010.
*Autor de correspondencia: montoya.victor@colpos.mx

RESUMEN

La gestión inadecuada del suelo puede incrementar las tasas de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El espacio poroso ocupado por agua (EPOA) es uno de los principales reguladores de los procesos biogeoquímicos del suelo que generan GEI. El objetivo fue analizar la variabilidad estacional del EPOA y su relación con las emisiones de N_2O en respuesta a la fertilización y a eventos climáticos determinados bajo agricultura de temporal. El experimento se ejecutó en Acámbaro, Guanajuato, en un suelo con historial de producción de maíz durante más de 10 años, clasificado como vertisol. Durante el año 2024, se monitoreó la precipitación pluvial, temperatura del aire y suelo, emisión de N_2O y el EPOA; el contenido de materia orgánica y nitrógeno del suelo se determinaron de manera mensual. El EPOA mostró una alta variabilidad (0.40–83.23%) controlada por la precipitación ($r = 0.96$), con valores mínimos durante la temporada seca (1.25%) y máximos en la temporada de lluvias (14.93%). La emisión de N_2O respondió positivamente al EPOA ($r = 0.42$) y mostró incrementos significativos durante eventos de lluvia ($t = 7.50$), evidenciando el efecto Birch. El análisis de umbrales reveló que las emisiones de N_2O se incrementan progresivamente a partir de EPOA > 10%, alcanzando máximos (50.24 mg kg^{-1}) en condiciones anaeróbicas (EPOA > 80%). Los resultados subrayan la necesidad del monitoreo de alta frecuencia para capturar la heterogeneidad temporal de las emisiones de GEI, frecuentemente subestimada por esquemas de muestreo discontinuo.

Palabras clave: *cambio climático; efecto Birch; desnitrificación; respiración del suelo*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN DE CHILE SERRANO EN CAMAS BIOINTENSIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE MERCADOS GASTRONÓMICOS LOCALES

Flores Josue[1]; Franco Elisa[2]; Ma. De Lourdes López[2]; Hernández Paula[1]; Alvarado María Salomón Alondra[1]

[1]Esrudiantes del Tecnológico Nacional de Mécio/Instituto Tecnológico de Roque; [2]Docentes del TecNM-Roque

RESUMEN

El presente estudio evaluó el rendimiento agronómico y la viabilidad socioeconómica de la producción de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) mediante el método de camas biointensivas, orientado al abastecimiento de mercados gastronómicos locales a través de cadenas cortas de comercialización. Metodológicamente, se estableció un módulo piloto de 24 m² (dos camas) bajo manejo estrictamente orgánico, utilizando estiércol de borrego composteado como única enmienda nutricional. Durante un periodo de 17 días, se cuantificó el peso fresco de cuatro cortes sucesivos, obteniendo un acumulado de 2.64 kg. Estos datos empíricos se extrapolaron a un modelo de escala comercial de 120 m² (10 camas), proyectando una producción de 13.22 kg para el mismo periodo, equivalente a 5.4 kg semanales. Paralelamente, un sondeo de mercado local permitió seleccionar un cliente objetivo ("Fonda 2") con una demanda de 2.5 kg semanales. La articulación del volumen proyectado con este establecimiento demostró que el modelo productivo cubre íntegramente la demanda del cliente, garantizando entregas inmediatas de alta calidad organoléptica y frescura. Al suprimir la intermediación comercial y establecer un precio directo de $83.00 MXN por kg, se proyectó un ingreso bruto de $1,097.26 MXN por ciclo inicial de cosecha. Se concluye que la agricultura biointensiva a pequeña escala es una alternativa ecológica y económicamente rentable que fortalece la resiliencia productiva y la economía circular regional.

Palabras clave: *chile serrano, camas biointensivas, cadenas cortas de comercialización, agricultura orgánica, rentabilidad.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN DE CUATRO HÍBRIDOS DE LILIS *(Lilium spp.)* BAJO ESTRUCTURA PROTEGIDA EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA SIERRA SUR DE OAXACA

Lucero J Garcia Cruz[1]; Misael Navarro Aparício[1]; Daniel A Olivera Resendiz [1]; Ibeth Cortes Angeles[1]

[1]Universidad Tecnológica de la Sierra Sur de Oaxaca. Autor de correspondencia: garjazmin374@gmail.com

RESUMEN

La floricultura en el estado de Oaxaca enfrenta limitaciones como baja tecnificación, escasa diversificación y alta vulnerabilidad climática, lo que reduce su competitividad en mercados de alto valor. No obstante, existe una creciente demanda de flores ornamentales de calidad, lo que posiciona a *Lilium spp.* Como una alternativa estratégica para fortalecer el sector mediante sistemas de producción protegida. El presente estudio evaluó la viabilidad agronómica, productiva y económica de cuatro híbridos (Litowen, Flemington, Bataleon y Brindisi) bajo condiciones de invernadero en la Sierra Sur de Oaxaca. La metodología incluyó un manejo tecnificado basado en fertirriego, control ambiental, preparación de camas con materia orgánica, densidad de siembra controlada y prácticas culturales como aporque, tutoreo y manejo fitosanitario. Se analizaron variables como altura de planta, número de botones florales y vida de anaquel. Los resultados mostraron que todos los híbridos se adaptaron adecuadamente, alcanzando estándares de calidad comercial. Flemington y Bataleon destacaron por su mayor altura, mayor número de botones (7–8 por tallo) y vida potscosecha cercana a 15 días. Litowen y Brindisi presentaron valores ligeramente menores, pero dentro de rangos aceptables. La producción se clasificó en calidad extra y primera, con buena aceptación en mercados locales y regionales. Evidenciando así que el cultivo de lilis bajo estructura protegida es técnica y económicamente viable, permitiendo mejorar la calidad del producto, diversificar la producción y fortalecer la competitividad de la floricultura en Oaxaca.

Palabras clave: *híbridos, bulbos, Lilium spp, Ornamental.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE MAÍZ EN CAMAS DE ARENA

Alejandro Piña González[1]; Eva L. León Arreguin[2*]; J. G. García Rodríguez[2]; Francisco Cervantes Ortiz[2]; Jesús Frías Pizano[2]; José F. Rodríguez Rodríguez[3]

[1]Estudiante Instituto Tecnológico de Roque, [2]Instituto Tecnológico de Roque, [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Autor de correspondencia: *lizbetharreguin.leon@gmail.com

RESUMEN

La profundidad de siembra es un factor agronómico predominante en el establecimiento del cultivo de maíz, el cual, influye directamente en el proceso de germinación, emergencia y desarrollo inicial de las plántulas, sin embargo, uno de los principales problemas en la producción de maíz es el establecimiento irregular del cultivo, el cual puede ser ocasionado por la selección incorrecta de la profundidad de siembra, ya que, puede verse afectada por la pérdida de humedad, temperaturas extremas. Por lo antes mencionado, el objetivo de la investigación fue evaluar la profundidad de siembra de semillas de maíz en camas de arena. El experimento se llevó a cabo en el centro de investigación INIFAP bajo condiciones de invernadero en camas de arena, con diferentes profundidades de 10, 20, y 30 cm además de un testigo a 5 cm, con el genotipo Roque 2015, evaluando la velocidad y porcentaje de emergencia, longitud, peso fresco y peso seco de plúmula y radícula, biomasa e índice de vigor I. El genotipo Roque 2015 media más alta para todas las variables evaluadas en las profundidades de 5 y 10 cm (15 p*día, 98%, 25 cm), sin embargo, la mayor longitud de plúmula en la profundidad de 30 cm (27 cm). Se puede concluir que las profundidades óptimas para la siembra de maíz son de 5 y 10 cm, ya que, ayudan a tener una emergencia más uniforme, plantas más vigorosas, incrementa el rendimiento y reduce perdidas en etapas tempranas del cultivo.

Palabras clave: *Maíz, profundidad, siembra.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PROPAGACIÓN ASEXUAL DE DOS GENOTIPOS DE *Opuntia ficus-indica* DE NOPAL

Alvaro Noriega Gallegos[1], Héctor Silos Espino[1], Silvia Flores Benítez[1], Mónica González Reyes[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, [1]División de Estudios de Posgrado e Investigación. Autor de correspondencia: M24900286@llano.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar protocolos de propagación asexual en *Opuntia ficus-indica* mediante la integración de técnicas de cultivo en invernadero y condiciones *in vitro*, con la finalidad de desarrollar un sistema eficiente de multiplicación y conservación de germoplasma, considerando la importancia de esta especie en sistemas productivos de zonas áridas y semiáridas. En la fase de invernadero se emplearon cladodios como material vegetal, los cuales fueron sometidos a cinco tratamientos y un grupo control con promotores de enraizamiento bajo condiciones ambientales no controladas de fotoperiodo, dependiendo de la radiación solar disponible; la evaluación se centró en la brotación de nuevos cladodios, asumiendo que un mayor desarrollo radicular favorece indirectamente este proceso. Asimismo, se realizó la toma de datos semanalmente durante un periodo de 10 semanas para evaluar la respuesta de los tratamientos a lo largo del tiempo. En la fase *in vitro* se establecieron explantes en medio Murashige y Skoog suplementado con 6-bencilaminopurina y ácido naftalenacético, manteniendo condiciones controladas de fotoperiodo, sin variación en el tipo de explante ni en la concentración hormonal. Los resultados preliminares evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos en la brotación, lo que indica un efecto importante de los promotores de enraizamiento sobre la respuesta de brotación. Asimismo, la prueba de Brown-Forsythe evidenció heterogeneidad de varianzas entre tratamientos. En conjunto, estos resultados indican que la combinación de estrategias mejora la eficiencia de propagación y permite establecer protocolos reproducibles y escalables, representando una alternativa viable para la producción y conservación de *Opuntia ficus-indica*.

Palabras clave: *opuntia ficus-indica, propagación asexual, micropropagación, enraizamiento, BAP, ANA.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

REGULACIÓN DEL CRECIMIENTO Y LA FISIOLOGÍA DE PLÁNTULAS DE JITOMATE MEDIANTE PACLOBUTRAZOL Y GLICINA-BETAÍNA

Felipe de Jesús Martínez-Gaspar[1§]; Marcos A. Cruz-Peloc[2]; César L. Aguirre-Mancilla[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. [2]Universidad Nacional de Jujuy, Av. Bolivia 1239, S.S. de Jujuy, Argentina. [§]Autor de correspondencia: felipe.mg@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La calidad fisiológica de las plántulas es determinante en el establecimiento del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). El objetivo fue evaluar el efecto del paclobutrazol (PBZ) y la glicina-betaína (GB), aplicados de forma individual y combinada, sobre el crecimiento y la respuesta fisiológica en plántulas bajo condiciones de invernadero. Se emplearon plántulas del híbrido `Mago´ establecidas en sustrato peatmoss con perlita (2:1 v/v), la nutrición mineral se realizó con solución nutritiva de Steiner al 100 %. Los tratamientos consistieron en PBZ (0.085 y 0.170 mM), GB (5 y 10 mM), sus combinaciones y un testigo. El paclobutrazol se aplicó vía drench al sustrato a los 18 días después de la emergencia (DDE), mientras que la glicina-betaína se aplicó vía foliar a los 18, 25 y 32 DDE. Se evaluaron variables morfológicas y fisiológicas, incluyendo contenido relativo de clorofila (SPAD), altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2×2) más un testigo. La interacción tratamiento×muestreo fue significativa para SPAD ($p \leq 0.001$), altura ($p \leq 0.001$), diámetro ($p \leq 0.01$) y hojas ($p \leq 0.01$). La combinación PBZ+GB alta mostró mayores valores: SPAD (56.2±1.8), altura (14.5±2.1) cm, diámetro (3.4±0.3) mm y hojas (7.0±0.6) hojas planta^{-1}, superando tratamientos individuales y testigo. Se concluye que la integración de reguladores de crecimiento vegetal y osmoprotectores representa una estrategia fisiológica viable para mejorar la calidad de plántulas en invernadero.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L.*, paclobutrazol, glicina-betaína.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

RESISTENCIA A HERBICIDAS PINOXADEN Y MESOSULFURÓN METIL + IODOSULFURÓN METIL SÓDICO EN *Avena fatua* PROVENIENTE DE PÉNJAMO, GUANAJATO

Ana K. Campa-Rivera1; Glenda M. Gutiérrez-Benicio1; César L. Aguirre-Mancilla1; Sarahyt S. González-Figueroa*2; Margarita J. Vázquez-Gaytán1; Emiliano Vargas-Almanza1

[1]TecNM- Campus Roque,[2]Campo Experimental Bajío-INIFAP. *Autor de correspondencia: sarahytgonzalez@hotmail.com

RESUMEN

La resistencia a herbicidas representa una problemática creciente en el manejo de maleza en cereales de grano pequeño, particularmente en *Avena fatua*. El objetivo de este estudio fue determinar la resistencia de poblaciones de *Avena fatua* colectadas en Pénjamo, Guanajuato, a herbicidas inhibidores de Acetil CoA Carboxilasa (ACCasa) y Acetolactato Sintasa (ALS), mediante la evaluación de pinoxaden y la mezcla mesosulfurón metil + iodosulfurón metil sódico. El experimento se realizó en el área de maleza del Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se evaluaron poblaciones colectadas en 2024 en cinco localidades de Pénjamo: El Pedregal de Arriba, Colorado de Saavedra, La Remolacha, Solidaridad y Varal de Morales. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, donde el Factor A correspondió a diez dosis crecientes de los herbicidas y el Factor B a las poblaciones evaluadas. Las variables analizadas fueron mortalidad, rebrote y peso seco a los 30 días después de la aplicación. Con base en el peso seco se estimaron ED_{10}, ED_{50} y ED_{90}, así como índices de resistencia mediante curvas dosis–respuesta. Los resultados mostraron baja mortalidad a dosis comerciales y valores elevados de ED50 en ambos herbicidas. Los índices de resistencia variaron de 28.25 a >52.97 para pinoxaden y de 5.48 a >38.29 para mesosulfurón metil + iodosulfurón metil sódico, indicando resistencia moderada a alta. En conjunto, las poblaciones evaluadas presentaron resistencia múltiple a inhibidores de ACCasa y ALS.

Palabras clave: dosis-respuesta, maleza, control.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

RESPUESTA AGRONÓMICA DEL MAÍZ A LA DOSIS DE POTASIO EN EL BAJÍO

Juan Francisco Buenrostro Rodríguez[1]*; Simon Fonteyne[1]; Javier Z. Castellanos[2]; Jesús Arévalo Zaarco[3]; Miguel Peña Datoli[3]; Amador Tranquilino Aguillón Aguillón[1]; Ouorou Ganni Mariel Guera[1]; Alfredo Josué Gámez Vasquez[2] y Andres Mandujano Bueno[2]

[1]Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Texcoco, EDO. De México. [2]Tecnologico Nacional de México-IT de Roque, Roque, Celaya, Guanajuato. [3]Fertilab. Celaya, Guanajuato. [4]Campo Experimental Bajío. INIFAP. Celaya, Guanajuato. Autor de correspondencia: j.buenrostro@cgiar.org

RESUMEN

La fertilización con potasio (K) es uno de los pilares fundamentales para alcanzar el máximo potencial de rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays*). A diferencia del nitrógeno o el fósforo, el potasio no forma parte de la estructura orgánica de la planta, pero actúa como un regulador vital en casi todos los procesos fisiológicos. Un suministro adecuado de potasio asegura un equilibrio nutricional que permite al maíz expresar su vigor híbrido, garantizando no solo una mayor cantidad de cosecha, sino también una mejor calidad bromatológica del grano. Con el objetivo de determinar el efecto de la dosis de potasio sobre el rendimiento de grano de maíz, en el ciclo primavera-verano se establecieron 14 sitios de evaluación en la región de El Bajío. Se evaluaron dos tratamientos: a) 100 kg ha^{-1} de K_2O y b) 0 kg ha^{-1} (testigo). Se evaluó rendimiento, sus componentes y valor SPAD. Las localidades contribuyeron con 84% de la variabilidad en rendimiento, mientras que los tratamientos y la interacción localidades x tratamientos con 12 y 4%, respectivamente. En localidades y tratamientos se observaron diferencias significativas ($p \geq 0.01$ y $p \geq 0.05$, respectivamente). En general, el rendimiento se comportó significativamente proporcional a la dosis de K_2O aplicada al suelo (6.7% mayor al tratamiento testigo). La relación beneficio/costo también fue proporcional a la dosis de potasio (1.84% mayor al testigo). Por otro lado, no se observó una relación determinante entre el rendimiento relativo y la concentración de potasio en el suelo, probablemente otros factores pudieron influir en los resultados obtenidos.

Palabras clave: *rendimiento, suelo, dosis de potasio.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PROBIÓTICOS VEGETALES RIZOBIANOS: BIOTECNOLOGÍA CLAVE PARA LA REGENERACIÓN DE SUELOS Y LA SOBERANÍA ALIMENTARIA EN MÉXICO

Francisco Alexander Rincón Molina[1], Reiner Rincón Rosales[1], Clara Ivette Rincón Molina[1] y Luis Alberto Manzano Gómez[1]

[1]Laboratorio de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29050.

RESUMEN

La agricultura actual enfrenta retos asociados al uso intensivo de fertilizantes químicos y agroquímicos, lo que ha provocado degradación del suelo, pérdida de biodiversidad microbiana y disminución de la eficiencia productiva. En este contexto, los probióticos vegetales rizobianos representan una alternativa biotecnológica sustentable para mejorar la productividad agrícola y restaurar la salud del suelo. El presente trabajo destaca el potencial de cepas nativas del género Rhizobium, incluyendo Rhizobium jaguaris, Rhizobium calliandrae y Rhizobium mayense, caracterizadas por su alta capacidad de fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fosfatos, síntesis de auxinas, producción de sideróforos y eficiente colonización de raíces. Estas propiedades funcionales permiten mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular el crecimiento vegetal y fortalecer la interacción planta-microorganismo en sistemas agrícolas. Las cepas han sido evaluadas en cultivos de importancia estratégica como maíz nativo, frijol, tomate y chile, mostrando incrementos significativos en rendimiento, crecimiento, desarrollo vegetal y calidad de los productos agrícolas. Además, su aplicación contribuye a la regeneración de suelos agrícolas al favorecer la actividad microbiana y la estructura edáfica. El uso de estos probióticos vegetales reduce la dependencia de fertilizantes químicos y disminuye la aplicación de moléculas tóxicas presentes en pesticidas y fungicidas, promoviendo sistemas de producción más seguros y amigables con el ambiente. En este sentido, estas tecnologías representan una alternativa viable para avanzar hacia la soberanía alimentaria y el rescate del campo mexicano. Finalmente, se resalta el alto potencial de los probióticos rizobianos como herramienta estratégica para impulsar una agricultura sustentable en México, basada en innovación biotecnológica y el aprovechamiento de recursos microbianos nativos.

Palabras clave: *rhizobium, probióticos vegetales, agricultura sustentable, biofertilizantes*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

Trichoderma harzianum PROMUEVE LA CALIDAD NUTRACEÚTICA Y EL VALOR FUNCIONAL DE *Solanum lycopersicum* L.

Georgina Ivette Rodríguez Muñoz[1]; Juan G. Ramírez Pimentel[1*]; Erika Cañada Coyote[1]; Cesar L. Aguirre Mancilla[1]; Leandris Argentel Martínez[2]; Mariano Mendoza Elos[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/I.T. Roque, Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110. [2]Tecnológico Nacional de México/I.T. Valle del Yaqui, Bácum, Sonora, México, C.P. 85265. *Autor de correspondencia e-mail: juan.rp@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La colonización de *Trichoderma harzianum* en las raíces de *Solanum lycopersicum* L. promueve efectos bioestimulantes que fortalecen la interacción planta-microorganismo y modifican la producción de compuestos fenólicos y carotenoides en los frutos de tomate. Estos metabolitos secundarios desempeñan un papel importante en la neutralización de radicales libres, contribuyendo a disminuir el estrés oxidativo tanto en el fruto como en los consumidores. El objetivo de esta investigación fue analizar el contenido de fenoles totales, humedad (%Hum), °Brix, pH y acidez titulable (AT) en frutos de tomate inoculados con una cepa nativa (THR1R01) y tres cepas mejoradas (ThR14, ThR21 y ThR24), cultivados en invernadero bajo un sistema de riego por goteo. Las plántulas fueron inoculadas con una concentración de 1×10^7 conidios mL^{-1} los frutos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar. Los resultados obtenidos se analizaron mediante ANAVA y la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los frutos inoculados con la cepa ThR21 presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), respecto a las características fisicoquímicas del fruto y el contenido de fenoles totales y la cepa ThR14 mostró diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), en el contenido de licopeno, lo que sugiere que determinadas cepas de *Trichoderma harzianum* pueden modular diferencialmente la biosíntesis de metabolitos antioxidantes en el fruto, favoreciendo la calidad nutracéutica y el valor funcional del tomate.

Palabras clave: *Trichoderma harzianum, bioestimulación, Solanum lycopersicum, antioxidantes, metabolitos secundarios.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

Trichodermas spp PROVENIENTES DE LOMBRICOMPOSTA COMO PROMOTORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Suriel E. Flores Cruz[1], Omar Romero Arenas[1]; Manuel Huerta Lara[1]

[1]Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Autor de correspondencia: suriel.e.f.c@gmail.com

RESUMEN

Además de sus ventajas como controladores biológicos, algunas cepas de *Trichoderma* solubilizan fósforo y otros nutrientes del suelo, haciéndolos disponibles para la planta y promoviendo así su crecimiento. En este trabajo se evaluaron seis cepas aisladas de lombricompostas: tasa de crecimiento radial, velocidad de crecimiento, porcentaje de inhibición micelial (%), tipo de antagonismo (escala de Bell), solubilización de fosfatos, producción de ácidos orgánicos y sideróforos, y promoción de crecimiento vegetal. Se utilizaron medios de cultivo: PDA, Pikovskaya, Pikovskaya modificado y agar azul-CAS para determinaciones de laboratorio (cada 24 h); se compararon con una cepa caracterizada de *Trichoderma harzianum y* un control negativo. Complementariamente, se inocularon en *L. esculentum* M. (1 x 10^{-8}) para evaluar el crecimiento: longitudes, pesos frescos y secos (parte aérea y raíz). Con los datos obtenidos se evaluó la normalidad y se realizaron los análisis estadísticos correspondientes, pruebas de ANOVA y Tukey SD, en datos no normales, la prueba Kruskal-Wallis. La cepa TH2 (*T. harzianum*) presentó los mejores valores en las pruebas de promoción del crecimiento vegetal (1.520 +/- 1.202 y 1.272 +/- 1.487 para el Índice de solubilización de fosfatos y la producción de ácidos orgánicos, respectivamente), velocidad de crecimiento (6.365 +/- 0.49 cm d-1) y su efecto *in planta.* En consecuencia, se eligió para su secuenciación e identificación mediante inferencia bayesiana.

Palabras clave: *Trichoderma*, lombricomposta, promotor de crecimiento vegetal

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE SOSTENIBILIDAD APLICADAS AL SECTOR AGROPECUARIO DE MÉXICO

Víctor Manuel Montoya-Jasso[1]*

[1]Consultor agrícola y ambiental, Granjas del Molino de Flores, Texcoco, Estado de México, México. 56235. *Autor de correspondencia: vmmj9319@gmail.com

RESUMEN

El gobierno federal mexicano ha desarrollado en años recientes un conjunto de instrumentos de política pública (PP) orientados a la sostenibilidad del sector agropecuario. Las PP se diseñan con información insuficiente sobre los productores: se desconoce con precisión quiénes son, cómo producen, cuánto emiten y cuáles son las necesidades de las, aproximadamente, 4.6 millones de unidades de producción agropecuaria que existen en el país, de las cuales la mayoría corresponde a pequeños productores con superficies de hasta dos hectáreas. Sin esa información, cualquier PP de sostenibilidad, por bien intencionada que sea, operará con limitaciones estructurales que reducirá su efectividad. La NDC 3.0 establece una reducción de emisiones a 364-404 Mt CO_2 eq para 2035 y la neutralidad de carbono para 2050. El sector agropecuario concentra una proporción significativa de las emisiones nacionales (17%, ≈ 139,035,760 t CO_2eq), y al mismo tiempo representan la mayor oportunidad de captura de carbono y adaptación territorial. Mientras las PP articulan metas de huella de carbono, recarbonización de suelos y agricultura de precisión, los productores agropecuarios enfrentan incertidumbre sobre la rentabilidad de su producción. Las PP de sostenibilidad agrícola de México son parcialmente irreales porque operan con una base de información que no captura la heterogeneidad, la vulnerabilidad y la agencia real de las unidades de producción sobre las que pretenden incidir: la NDC 3.0 es un compromiso climático serio, Producción para el Bienestar es un programa de ingreso importante y el RENE es un instrumento técnico necesario; pero ninguno de ellos, por sí solo, resuelve el problema de fondo. El análisis de esos instrumentos arroja un balance matizado: hay avances genuinos, pero también distancias significativas entre el diseño normativo y las condiciones reales de implementación.

Palabras clave: *NDC 3.0; censo agropecuario; SADER; RENE; productores rurales*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

USO DE LA IA (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) EN LA CIBERSEGURIDAD EN MÉXICO

Alan Diaz Duran[1], Angela Paola Duarte Mata[2], Margarita Caracheo Rodriguez[3], Francisco Alejandro Navarro Almanza[4], Diego Mujica Mandujano[5], Kevin Mejia Reyes[6]

[1]Tecnológico Nacional de México Roque. Carretera Celaya – Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Carrera; Ingenieria en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: zadinala@gmail.com

RESUMEN

Estados unidos, tiene un marco legal bastante sólido y una gran capacidad de reacción. China, por su parte, ha realizado grandes inversiones en IA, pero todavía lidia con temas delicados como la privacidad y los sesgos en los algoritmos. En América latina, Brasil ha ido mejorando su legislación y ha aumentado la inversión, pero aún le cuesta cubrir la falta de especialistas y lidiar con sistemas de seguridad fragmentados. En México, las carencias son mas evidentes, en el 2021, el país sufrió una ola de ciberataques --- phishing, ransomware, malware- dejando claro lo urgente que era reforzar la infraestructura digital y los sistemas de protección de datos. La inversión en investigación y desarrollo es baja, si se compara con los países antes mencionados, y eso frena la innovación y el desarrollo tecnológico, por ello se realizar una investigación mixta en donde, recolectó datos numéricos (cuantitativos) y descriptivos (cualitativos) con la intencionalidad de observar los fenómenos en su contexto natural, aplicando una encuesta cualitativo-cuantitativa no experimental, a través de un Google Forms® (escala de Likert) para evaluar actitudes, opiniones o comportamientos, pidiendo a los encuestados califiquen su grado de acuerdo o desacuerdo frente, afirmación, considerando desde un extremo negativo a uno positivo, permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión. La inteligencia artificial (IA) puede ser una herramienta muy útil para la ciberseguridad, pero su efectividad depende mucho de tres cosas: la inversión, la legislación y la capacidad de comunicación. Mientras Estados unidos y China llevan la delantera, México y Brasil enfrentan retos importantes. Para la protección a las amenazas digitales, hace falta fortalecer las leyes, destinar recursos y, sobre todo, formar mas especialistas en el área. Hablar y establecer estrategias para fortalecer la inteligencia artificial (IA) se ha vuelto fundamental en el mundo de la inteligencia artificial, se usa para proteger sistemas, redes y datos, ayuda a detectar y responder a amenazas. Estados unidos y China poseen grandes avances, aunque con enfoques distintos y también con sus propios problemas, de forma mucho más ágil. Uno de sus mayores aportes es que permite automatizar tareas repetitivas, lo que deja a los especialistas libres para enfocarse en lo estratégico. Las aplicaciones de la IA en este ámbito van desde la prevención de ataques hasta el análisis forense o la respuesta ante incidentes.

Palabras clave: *automatización, ciberseguridad, hardware, inteligencia artificial, software*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

MACROECONOMÍA, IMPORTANCIA Y ANÁLISIS EN ESTUDIANTES DE INGENIERIA EN GESTIÓN EMPRESARIAL DEL TECNOLÓGICO DE ROQUE

Leslie Alexandra Cruz C[1]; Camargo R. Yuliana[2]; Soto R. Fernanda[3], Rodriguez Segura Erik Fabian[4], Cupul Moreno Laura[5], Gasca Olalde Mario[6]

[1]Tecnológico Nacional de México-Roque, Carretera-Celaya-Juventino Rosas S/N, C.P.38110Celaya, Guanajuato. Ingeniería En Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: L22980493@roque.tecnm.mex

RESUMEN

Tanto la macroeconomía como la microeconomía, permite comprender el comportamiento de los principales agregados económicos, tales como la inflación, el desempleo y el crecimiento económico, los cuales influyen directamente en el desempeño de las organizaciones (Blanchard, 2017). El presente estudio tiene como objetivo analizar la importancia del conocimiento macroeconómico en estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial, así como su relación con la toma de decisiones dentro del ámbito organizacional (Aboites, 2012). Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo. Se aplicó un cuestionario digital de 11 preguntas cerradas a estudiantes del Instituto Tecnológico de Roque. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental de tipo descriptivo. La población de estudio estuvo conformada por estudiantes de las carreras de IGE e Ingeniería en Agronomía del Instituto Tecnológico de Roque. Considerando aspectos como nivel de conocimiento, aplicación en la gestión empresarial y percepción sobre la relevancia de la macroeconomía (Krugman, 2018). Los resultados evidencian que la mayoría de los estudiantes reconoce la importancia de variables como la inflación, el Producto Interno Bruto y la política monetaria en el contexto empresarial Banco de México (2023). Asimismo, se identificó que, aunque existe un nivel aceptable de conocimiento, aún se requiere fortalecer la comprensión de estos conceptos. Se concluye que la macroeconomía representa una herramienta fundamental en la formación de los futuros profesionales, al permitirles interpretar el entorno económico y mejorar la toma de decisiones estratégicas. Los resultados obtenidos permiten concluir que los estudiantes reconocen la importancia de la macroeconomía en la gestión empresarial, especialmente en variables como la inflación, el Producto Interno Bruto y la política monetaria.

Palabras clave: *empresarial, empresas, gestión empresarial, macroeconomía, microeconomía, variables económicas.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PROCESO DE APAGADO DE MÁQUINAS TESTER EN LA EMPRESA HIRCHMANN AUTOMOTIVE (CASO DE ESTUDIO SMA)

Elías L. Enrique Emmanuel[1]; Ramírez A. María Fernanda[2]; Ramos S. Lizbeth[3]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya – Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Carrera; Ingeniería en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: l24980098@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La capacidad de prevenir los fallos ha tenido un gran impacto directo en la eficacia operativa en la industria y sus procesos, el mantenimiento predictivo favorece la transición de modelos reactivos a enfoques proactivos, lo que se traduce en unas organizaciones más eficaces. En el sector automotriz, este punto es donde se muestran que el uso de modelos predictivos reduce de manera significativa los tiempos de inactividad no planificada contribuye a una operación más sostenible al optimizar el uso de los recursos industriales. El manejo adecuado de equipos industriales es un tema estratégico ya que puede ser un medio para satisfacer los objeticos estratégicos de una organización. Pero la dependencia de equipos especializados, que también es esencial para la continuidad del servicio. En esta investigación analiza que el proceso de apagado de las máquinas tester al final de la semana a menudo se realiza erróneamente por las personas lo que no lo ejecutan de acuerdo a procedimientos estándar. Las personas quieren irse tan pronto pueden llevar a apagar máquinas que no necesitan. En esta investigación, se realizó en una empresa automotriz en SMA y esto se enfoca en el problema del apagado incorrecto del tester, lo que lleva a fallas de voltaje eléctrico, lecturas, incorrectas de estos arneses mientras que se ensamblan tableros de velocidad, puertas, censores o luces de advertencia. El objetivo es identificar la causa sobre la falla del apagado inadecuado de máquinas y partir de eso informar al personal encargado de estos procesos para llegar a una idea a partir de la información recopilada a través de encuestas para llegar a una conclusión que las mejoras pueden tener un efecto, y minimizar las fallas, a los líderes mejorar sin alterar los parámetros existentes y también para evitar costos ocasionales de especialistas para arreglar una falla. El apagado de las maquinas tester tomando variables cuantitativas y cualitativas para un protocolo estándar. La hipótesis es que las máquinas pueden apagarse por inexperiencia o negligencia. Se realizó una observación completa para estudiar el problema, el resultado revela que un alto porcentaje de personas en la unidad no siguen los pasos necesarios, se van al final del turno, las personas del turno realizan múltiples funciones (llenar papeles de producción y limpiar un área, cerrar la máquina), las personas mencionan que dependía de quien trabajo en esa máquina antes y que hay una intervención de mantenimiento, se han dejado al personal encargado que necesitaba ver y analizar la situación antes de poder tomar la decisión final.

Palabras clave: *energía cero, gemelos digitales, máquinas tester, protocolo loto.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA DE MAÍCES PIGMENTADOS MEDIANTES PARAMETROS CIELaB

Silvia Nayely García-Venegas[1]; Mariano Mendoza-Elos[2]; Gilberto Rodríguez-Pérez[3]; Susana Elizabeth Altamirano-Romo[2]; Francisco Cervantes-Ortiz[2]; Gerónimo Arámbula-Villa[3]; Cesar Leobardo Aguirre Mancilla[2]

[1]Estudiante de posgrado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque. [2]Investigador, Tecnológico Nacional de México-Roque. [3]Investigador, Tecnológico Nacional de México-Campus Valle del Yaqui. [3]Investigador, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. *Autor de correspondencia: d24980864@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La caracterización del color en maíces pigmentados nativos es fundamental para entender su variabilidad y su relación con compuestos bioactivos. En este estudio, se evaluaron parámetros cromáticos mediante el sistema CIELAB (L*, a* y b*) en diferentes genotipos de maíz pigmentado. El objetivo fue analizar los atributos cromáticos en maíces de color nativos en Roque, Guanajuato. El experimento fue establecido en el TECNM-ITRoque durante el año 2026. Los genotipos que se utilizaron fueron cinco razas nativas de distinto color y una raza blanca como testigo, el diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: parámetro L* (luminosidad), parámetro a* (tonos rojos) y parámetro b* (tonos amarillos). Los resultados presentaron diferencia estadística entre las razas respecto a las variables evaluadas. El maíz blanco fue el mas sobresaliente en L*, seguido del material naranja, dejando al azul con los niveles mas bajos; para b*, el maíz rojo fue el mas alto mientras que el blanco tuvo los valores mas bajos; para b* el naranja fue el que mas resalto, dejando al amarillo con el valor más bajo.

Palabras clave: *maíz, razas nativas, colorimetría, pigmentación.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CUANTIFICACIÓN DE SULFORAFANO EN GERMINADO E INFLORESCENCIA DE BRÓCOLI ELICITADO

María I. Flores Reyes[1]; Cesar L. Aguirre Mancilla[1]; María G. Herrera Hernández[2]; Juan C. Raya Perez[1]; Juan G. Ramírez Pimentel[1]; Salvador H. Guzmán Maldonado[2]

[1]Tecnológico Nacional de México-Roque. Carretera, Juventino Rosas - Celaya Km.8, Celaya, Guanajuato, C.P. 38110, 4611405670. [2]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Bajío. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. Celaya, Guanajuato. C.P. 38110, Tel.4611836545. Autor de correspondencia: isela_flores_r261985@hotmail.com

RESUMEN

El sulforafano es un compuesto presente en las crucíferas que ha despertado interés en los últimos años debido a los efectos benéficos que se le adjudican en la salud humana. El brócoli es una crucífera que contiene concentraciones importantes de sulforafano por lo cual se ha optado por el uso de elicitores para el incremento de este compuesto. Los elicitores han tenido efectos positivos en algunas investigaciones. Por lo que el objetivo de este trabajo es incrementar el contenido de sulforafano en el germinado y en la inflorescencia mediante el uso de un elicitor químico. Para esta investigación se utilizó semilla de brócoli para la germinación monitoreando a diferentes días de germinado y la inflorescencia de brócoli, se utilizaron tres repeticiones, se utilizó una muestra control sin elicitar tanto para el germinado como para el brócoli. De acuerdo con los resultados obtenidos el contenido de sulforafano incremento un 370 % en el germinado y un 126 % en la inflorescencia después de la elicitación en comparación con la muestra control. De acuerdo con los datos obtenidos podemos concluir que la elicitación tiene un efecto positivo en la concentración del sulforafano tanto en el germinado como en la inflorescencia lo que nos lleva a recomendar el uso de elicitores para estos materiales.

Palabras clave: *sulforofano, germinación, brócoli*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

INCLUSIÓN DE HARINA DE VAINA DE MEZQUITE EN *SNACKS* Y SU IMPACTO NUTRICIONAL Y SENSORIAL

David A. López Alcántar[1]; Ignacio Mejía-Haro[2]; Héctor Silos-Espino[2]; Deli N. Tirado-González[2]; Karla Y. Amador-Rodríguez[3]

[1]Maestría en Ciencias en Biotecnología Agropecuaria, Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes, México. [2] Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes, México. [3]Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México. Autor de correspondencia: ignacio.mh@llano.tecnm.mx

RESUMEN

La harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) es un recurso subutilizado con alto potencial nutrimental para el desarrollo de alimentos. El objetivo del estudio fue evaluar su inclusión en *snacks* tipo galleta, analizando su efecto en la composición nutrimental y la aceptación sensorial. La harina de mezquite fue obtenida mediante secado, molienda y tamizado de vainas recolectadas en Aguascalientes. Se realizó un análisis proximal comparativo con harina de trigo galletera, donde la harina de mezquite presentó mayor contenido de proteína (13.0 %) y fibra cruda (13.4 %) en comparación con la harina de trigo (10.9 % de proteína y 0.6 % de fibra cruda). Se formularon *snacks* con diferentes niveles de sustitución (0–60 %). Los resultados indicaron un incremento en proteína y fibra cruda conforme aumentó el nivel de sustitución. La evaluación sensorial se realizó con 100 consumidores no entrenados mediante escala hedónica de 9 puntos. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en apariencia, sabor y textura entre tratamientos, donde el control (0% mezquite) presentó la mayor aceptación en apariencia (7.7), seguido de sustituciones intermedias (15–30%) (7.2–6.9), mientras que niveles altos (45–60%) mostraron menor aceptabilidad (6.5). No se detectaron diferencias significativas en aroma ($p \geq 0.05$). En conclusión, la inclusión parcial de harina de mezquite mejora el perfil nutrimental de los snacks sin comprometer su aceptación sensorial, posicionándola como una alternativa viable para el desarrollo de alimentos.

Palabras clave: *Prosopis laevigata, fibra cruda, proteína, snacks, evaluación sensorial*

AGRÍCOLAS
Agricultura sustentable



El campo nos da en la vida, la alegría y la tranquilidad
Que difícílmente podemos encontrar en la ciudad
Por eso, hay que disfrutar la paz en la soledad y rodeado de las plantas
Como dijera Amado Nervo, somos arquitectos de nuestros destinos
Qué si extraje mieles o hiel de las cosas, fue porque puse hiel o mieles sabrosas
Cuando planté rosales siembre coseche rosas

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

AISLAMIENTO PRELIMINAR DE 3 ECOTIPOS *Beauveria bassiana* PARA DETERMINACIÓN DE (DL50%) EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

José Daniel Utrera Jiménez[1], Daniel Utrera López[2], Juana Fabiola Jiménez Flores[3], Rosa María Aguilar Zurita[4], Monserrat Acosta Cadenas[5]

[1]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [2]Lic.en Biología Tecnológico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [3]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [4]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [5]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667. Autor de correspondencia: L25880093@ugalvan.tecnm.mx

RESUMEN

El trabajo de investigación preliminar sobre el uso del hongo parasito obligado entomopatógeno ***Beauveria bassiana*** como una alternativa sostenible a los plaguicidas químicos en la agricultura. Actualmente, el uso excesivo de insecticidas sintéticos ha generado resistencia en las plagas, daños ambientales y riesgos a la salud humana. En este contexto, los microorganismos como *B. bassiana* surgen como herramientas clave para el manejo integrado de plagas y la producción ecológica. El estudio evalúa tres ecotipos del hongo (TecNM Valle de Oaxaca, Huatusco 01 y un ecotipo comercial). El proceso incluyó el cultivo en medio P.D.A., aislamiento de los ecotipos, recolección de picudos de los granos *Sitophilus zeamais* Motchulsky e inoculación del hongo para determinar la dosis letal media DL 50% y la eficiencia de mortandad insectil.

Palabras clave: *hongo, entomopatógeno, Beauveria bassiana, dosis letal*

ABSTRACT

This document presents research on the use of the entomopathogenic fungus Beauveria bassiana as a sustainable alternative to chemical pesticides in agriculture. Currently, the excessive use of synthetic insecticides has led to pest resistance, environmental damage, and risks to human health. In this context, microorganisms like B. bassiana emerge as key tools for integrated pest management and organic production. The study evaluates three ecotypes of the fungus (TecNM Valle de Oaxaca, Huatusco 01, and a commercial ecotype). The process included cultivation on PDA medium, isolation of the ecotypes, collection of weevils, and inoculation to determine the median lethal dose (LD50%) and mortality efficiency.

Keywords: *fungus, entomopathogen, Beauveria bassiana, lethal dose*

INTRODUCCIÓN

Los hongos entomopatógenos son organismos capaces de controlar plagas insectiles mediante diferentes mecanismos. Hoy en día existen más de 750 especies conocidas, entre los géneros más comunes se encuentran: *Metarhizium, Beauveria, Ascherosonia, Entomophthora*, entre otros (Motta y Murcia 2011). Uno de los organismos entomopatógenos más usado como controlador biológico, es el hongo *Beauveria bassiana*. Éste es un hongo perteneciente a la clase Deuteromycetes y está entre los llamados hongos superiores. El proceso de ataque o infección del hongo está dividido en tres etapas: primero las esporas se pegan a la cutícula del insecto segundo las conidias penetran la cutícula del insecto haciendo uso de mecanismos físicos y químicos y tercero, el hongo se desarrolla dentro del insecto causándole la muerte para posteriormente germinar (Botero *et al.* 2009).

En las últimas décadas, el uso excesivo de plaguicidas ha impactado de manera negativa al ambiente, contribuyendo de igual manera al desarrollo de resistencia de plagas y enfermedades, así como la eliminación de enemigos naturales. Actualmente en la agricultura se hace hincapié en el uso de productos más amigables con el medio ambiente y la salud humana. En ese sentido, los microrganismos entomopatógenos constituyen una herramienta importante para el manejo integrado de plagas. Tal es el caso de los hongos entomopatógenos que poseen gran potencial como agentes controladores de poblaciones de artrópodos. Entre los géneros más importantes están: *Beauveria, Metarhizium, Paecilomyces, Verticillium, Rhizzopus y Fusarium.* Dentro de estas, la especie más utilizada comercialmente alrededor del mundo es Beauveria bassiana por los resultados favorables que ha demostrado en el control de insectos plagas de diferentes cultivos (Carballo, M. et.al. 2004)

El gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* Motchulsky es considerado una plaga primaria de granos y semillas de maíz almacenado. El insecto se alimenta del endospermo ocasionando una disminución significativa en su capacidad germinativa y valor nutritivo. Por otra parte, su presencia favorece el establecimiento de otras plagas que, en conjunto, crean las condiciones para el desarrollo de hongos que contaminan el producto con micotoxinas y el grano queda inservible para la alimentación (García-Lara et al., 2007) causando pérdidas económicas a nivel mundial.

Existen diversos métodos preventivos y curativos para el control de esta plaga, lo más común es la aplicación de insecticidas sintéticos (White et al., 1995). Sin embargo, se ha incrementado el uso de métodos naturales en lugar de los químicos por sus efectos negativos sobre el ambiente, salud animal y humana (Marín-Ruiz y Lozano, 2013), además de la resistencia genética que la plaga ha desarrollado (Pereira et al., 2009; Pérez-Mendoza, 1999).

Entre los métodos naturales, se ha sugerido por su efectividad la aplicación de hongos entomopatógenos (HEP), como Beauveria bassiana y *Metarhizium* anisopliae para el control de S. *zeamais* (Adane et al., 2010). En los últimos diez años en México la producción y comercialización de micoinsecticidas a partir de esporas de estos hongos ha ido en aumento a escala comercial (Schrank y Vainstein, 2010), sin embargo, no existe en el mercado mexicano un micoinsecticida validado para el control de S. *zeamaiz.*

Con este trabajo se pretende mostrar el potencial de los hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana)* como agentes de control de S. *zeamais* mediante la evaluación de tres ecotipos de *Beauveria bassiana* (TecNM Campús Valle de Oaxaca, Huatusco 01 y un ecotipo comercial). Los objetivos del trabajo**. -** Evaluar tres ecotipos de *Beauveria bassiana* en picudos de maíz (*S. zeamais),* - Determinar índice de mortandad DL50% de los tres ecotipos de *Beauveria bassiana.* - Observar eficiencia de los tres ecotipos de *Beauveria bassiana*

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno perteneciente al grupo de los ascomicetos, específicamente a la familia Cordycipitaceae. Su nombre está en honor al micólogo francés Ambroise-Auguste Liévin Beauverie, quien fue pionero en su estudio. Este hongo ha ganado relevancia por su capacidad para infectar y controlar poblaciones de insectos, convirtiéndolo en un agente valioso en estrategias de control biológico.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Dominio: eukaryota
Reino: fungi
Filo: ascomycota
Clase: sordariomycetes
Orden: hypocreales
Familia: cordycipitaceae
Género: beauveria
Especie: bassiana

Características del hongo: *Beauveria bassiana.* Morfología: *Beauveria bassiana* presenta una variedad de formas durante su ciclo de vida. La fase más reconocible es la conidial, en la que produce esporas aéreas llamadas conidios. Estas esporas son cruciales para la dispersión y la infección de nuevos hospedadores. Ciclo de Vida: Su ciclo de vida incluye etapas clave como la germinación de las conidias, formación de apresorios para la penetración en el insecto, colonización del hospedador y la producción de nuevas estructuras reproductivas, como conidias, para la propagación. **Especificidad:** *Beauveria bassiana* exhibe una alta

especificidad hacia los insectos, siendo capaz de infectar una amplia gama de especies. Su acción se dirige principalmente a los artrópodos, y su capacidad para adaptarse a diversos hospedadores lo hace versátil en aplicaciones de control biológico. Control Biológico: Este hongo se ha utilizado con éxito como una alternativa natural a los pesticidas químicos en la agricultura. Su capacidad para controlar plagas agrícolas y forestales, así como insectos vectores de enfermedades, lo convierte en una herramienta valiosa para el manejo sostenible de poblaciones de insectos perjudiciales. Factores Ambientales: La eficacia de *Beauveria bassiana* puede estar influenciada por factores ambientales como la temperatura y la humedad. Se adapta mejor en condiciones específicas que favorecen su desarrollo y capacidad de infectar insectos.

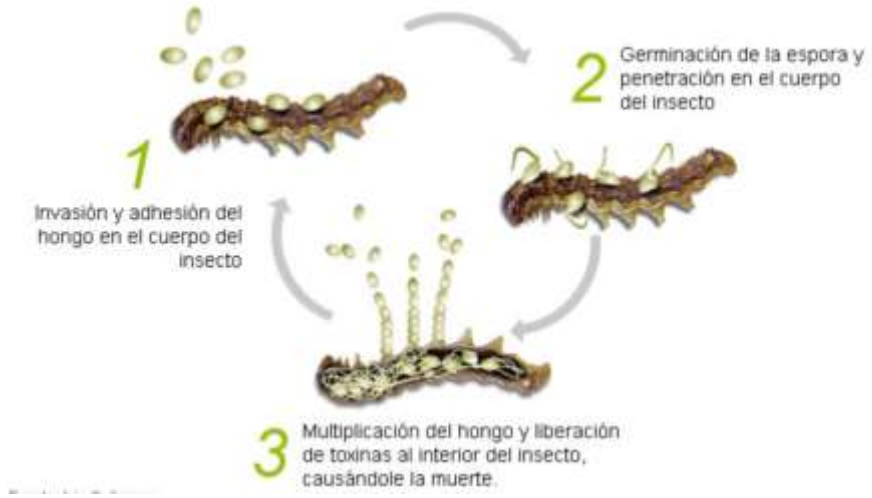


Figura 1 Infestación insectos y ciclo biológico de ***Beauveria bassiana*** (PROIMPA2026).

Ciclo de vida del hongo entomopatógeno (*Beauveria bassiana*). El ciclo de vida de Beauveria bassiana es característico de los hongos entomopatógenos y comprende varias etapas que son fundamentales para su capacidad de infectar e impactar las poblaciones de insectos. A continuación, se describen las principales fases de su ciclo de vida: Producción de Conidias: Inicio del Ciclo: El ciclo de vida comienza con la producción de esporas asexuales llamadas conidias. Conidióforos: Las conidias se desarrollan en estructuras llamadas conidióforos, que emergen de la superficie del hongo. Dispersión: Mecanismos de Dispersión: Las conidias son dispersadas por el viento, insectos, agua u otros agentes ambientales. Esta dispersión es crucial para alcanzar nuevos hospedadores. Germinación: Contacto con el Hospedador: Cuando una conidia entra en contacto con la cutícula de un insecto, germina y forma una estructura especializada llamada apresorio. Penetración: Formación de Apresorio: El apresorio es una estructura de fijación que ayuda al hongo a adherirse y penetrar la cutícula del insecto. Invasión: Una vez que el apresorio ha penetrado la cutícula, el hongo invade el cuerpo del insecto., Colonización: Desarrollo Interno: Beauveria bassiana se desarrolla internamente, consumiendo los

nutrientes del insecto. Se forman estructuras multicelulares, como hifas, que colonizan diferentes partes del cuerpo del hospedador., Reproducción: Formación de Conidias: Después de la colonización exitosa, el hongo comienza a producir nuevas conidias en el interior del insecto., Estructuras Reproductivas: Estas estructuras reproductivas emergen del cadáver del insecto una vez que la masa crítica de conidias ha sido alcanzada., Esparcimiento y Ciclo Continuo: Dispersión de Conidias: Las nuevas conidias son liberadas al medio ambiente, ya sea directamente desde el insecto infectado o después de la descomposición del cadáver., Inicio de un Nuevo Ciclo: Las conidias dispersadas reinician el ciclo de vida al entrar en contacto con nuevos hospedadores potenciales.

Biorremediación. Tradicionalmente, en la agricultura se ha abusado del uso de algunos productos. La mayor parte de ellos compuestos por sustancias químicas que pueden impactar negativamente en el medioambiente y llegar a ser poco sostenibles si no se emplean de la forma adecuada. El uso indiscriminado de determinados tipos de insecticidas ha contribuido al desarrollo de resistencias en determinados insectos plaga, así como a la reducción de la presencia de enemigos naturales, los cuales ayudan al equilibrio natural de las plagas en campo.

En la actualidad, existe una concienciación social cada vez más acusada sobre la importancia de cuidar el medioambiente y ejercer un consumo más responsable. Para ello, se promueve el consumo de alimentos producidos de forma más sostenible. En línea con estos ideales y valores, cada vez se promueven más los sistemas de producción integrada y ecológica en los que el uso de productos Bio-racionales es imprescindible para el control eficiente y sostenible de las numerosas y frecuentes plagas que azotan la agricultura. En este contexto, microorganismos como *Beauveria bassiana*, son una herramienta muy bien valorada para el manejo integral de plagas como para sistemas de producción ecológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como primer paso elaboración de medio de cultivo de Papa Destrosa Agar y vaciado del mismo en tubos de ensayo previamente esterilizados. El segundo paso es el aislamiento de los tres ecotipos del entomopatógeno (Beauveria bassiana). Para el tercer paso es la recolecta del insecto plaga picudo de maíz (S. zeamais) para colocarlos en cajas petri e inocular los insectos con los tres ecotipos del entomopatógeno *(Beauveria bassiana).* Por ultimo y cuarto paso determinar el índice de mortandad en DL50% en períodos en los tres diferentes ecotipos de *Beauveria bassiana (Ecotipo del ITVO-2026, Ecotipo Huatusco-VE2026 y Ecotipo Comercial BV2026),* Cultivamos el hongo entomopatógeno *(Beauveria bassiana)* en sus tres ecotipos en un medio de cultivo de Papa Destrosa Agar para aislarlo y reproducirlo para poner a prueba la letalidad en picudos de maíz *(Sitophilus zeamais* Motchulsky*)* en DL50%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron resultados parciales de las sepas de 3 ecotipos de ***Beauveria bassiana*** en medio de Papa Destrosa Agar como se muestra en la Figura 2 y Figura 3; hasta el momento los tres ecotipos han respondido favorablemente en las condiciones de laboratorio al obtenerse los cultivos puros con lo cual nos permitirá pasar a la etapa experimental para la determinación de la DL-50 en los especímenes vivos de *Sitophilus zeamais* Motchulsky.



Figura 2. Siembra de 3 ecotipos de *Beauveria bassiana* en medio de Papa Destrosa Agar (Utrera Jiménez 2026).



Figura 3. Colonización de 3 ecotipos de *Beauveria bassiana* en medio de Papa Destrosa Agar (Utrera Jiménez 2026).

CONCLUSIONES

El uso de *Beauveria bassiana* representa una estrategia biorracional e imprescindible para el control biológico eficiente del picudo del maíz (*S. zeamais*), respondiendo a la creciente necesidad social de sistemas de producción más sostenibles y alimentos libres de residuos químicos. A través de la evaluación de diferentes ecotipos, el trabajo busca validar un micoinsecticida efectivo en el mercado mexicano que permita reducir la dependencia de agroquímicos, mitigar el desarrollo de resistencia en las plagas y preservar los enemigos naturales en los ecosistemas agrícolas. De igual forma busca tener distintos ecotipos disponibles para evaluar

su eficiencia viniendo de distintas zonas y así determinar que ecotipo del hongo entomopatógeno es más eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrícola Valle Esperanza. (s.f.). *Beauveria bassiana en acción para una agricultura sostenible*. https://agricolavalleesperanza.com/beauveria-bassiana-en-accion-para-una-agricultura-sostenible/

Certis Belchim. (s.f.). *Beauveria bassiana: Todo lo que necesitas saber*. https://certisbelchim.es/beauveria-bassiana-todo-lo-que-necesitas-saber/

Correa, et al. (2014). *Beauveria bassiana en el control biológico de patógenos*.

Darwin Foundation. (s.f.). *Clasificación taxonómica de Beauveria bassiana*. https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=2259

Jaramillo Ramírez, J. (2019). *Evaluación de cuatro cepas de Beauveria bassiana producida en dos medios diferentes y su eficacia en el control sobre adultos de Cosmopolites sordidus (Picudo negro del plátano)*.

Piedra Buena Díaz, A., et al. (2017). *Evaluación de productos comerciales de Beauveria bassiana para el control del Picudo de la Platanera (Cosmopolites sordidus) en condiciones de laboratorio*.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

APLICACIÓN DE *Chlorella vulgaris* Y FERTILIZACIÓN ÓRGANO-MINERAL EN CULTIVO DE BETABEL (*Beta vulgaris* L.) EN INVERNADERO

Maribel, Apolinar-Aguilar [1*], Alfredo, Lino-Brito[2], Noel J., Arozarena-Daza[3]

[1-2]Universidades para el Bienestar Benito Juárez García (UBBJG), [3]Instituto de Investigaciones en Agricultura Tropical "Alejandro Humboldt" (INIFAT) Cuba. Autor de correspondencia: 2331313993 * alfrelino_09@hotmail.com

RESUMEN

Los objetivos de la investigación fue evaluar los efectos de la microalga *Chorela vulgaris* en conjunto con la fertilización órgano-mineral en algunas características del suelo y su impacto en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de betabel, además, de la posible reducción de la fertilización químico mineral, sin afectar la calidad y producción de la raíz carnosa. El trabajo experimental, se desarrolló en un Invernadero de la localidad de Almoloni, perteneciente al municipio de Tlatlauquitepec, estado de Puebla. La evaluación de la efectividad de *Chorela vulgaris* (microalga) a dosis de 20 mL L^{-1}, de la solución final de microalgas disueltas en agua, en tres aplicaciones foliares y al suelo donde se encontraba la planta, a los a los 39, 54 y 69 días después de emergida (dde) las semillas, en los tratamientos, 100 % de fertilización química mineral (FM) y donde se redujo la FM al 25 y 50 % y se aplicaron 5 kg m^{-2}, de un portador de materia orgánica (MO) (composta a base de estiércol). Además, del tratamiento 100 % FM, sin microalga(testigo). Destacando que *Chorela vulgaris*, con 50 y 25 % de reducción de la fertilización mineral y 100 % de la misma, supero al testigo en rendimiento en 10, 34 y 25 % en ese orden. Pudiendo concluir la microalga, estimula el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de betabel. De igual manera, contribuye a la mejora de los contenidos de M.O, pH y C.E del suelo.

Palabras clave: *microalgas: Chorela vulgaris, suelo, e invernadero.*

ABSTRACT

The objectives of the research were to evaluate the effects of the microalga Chlorella vulgaris in combination with organo-mineral fertilization on some soil characteristics and its impact on the growth, development, and yield of beet crops, as well as the possible reduction of chemical-mineral fertilization without affecting the quality and production of the fleshy root. The experimental work was carried out in a greenhouse in the town of Almoloni, belonging to the municipality of Tlatlauquitepec, state of Puebla. The evaluation of the effectiveness of Chlorella vulgaris (microalga) at a dose of 20 mL L^{-1} of the final microalgae solution dissolved in water, applied in three foliar treatments and to the soil where the plant was located, at 39, 54, and 69 days after the seeds emerged (dae), was conducted in the treatments with 100% chemical-mineral fertilization (CMF) and where CMF was reduced by 25% and 50%, alongside the application of 5 kg m^{-2} of an organic matter (OM) carrier (compost based on manure). In addition, from the 100% FM treatment, without microalgae (control). Highlighting that

Chlorella vulgaris, with 50% and 25% reduction of mineral fertilization and 100% of the same, surpassed the control in yield by 10, 34, and 25 % in that order. It can be concluded that the microalgae stimulate the growth, development, and production of the beet crop. Likewise, it contributes to the improvement of the soil's O.M., pH, and E.C. contents.

Keywords: *microalgae*: *Chlorella vulgaris*, soil, and greenhouse.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de betabel es originario de Europa, fundamentalmente del mediterráneo. Los primeros reportes del consumo de la raíz, son del Siglo XVI. En la actualidad es difundida ampliamente en todo el mundo, por la importancia de sus propiedades nutrimentales y la variedad de sus usos como la elaboración de azúcar, tintes vegetales, así como la alimentación de ganado, producción de melazas y la alimentación humana (Bonifaz, 2024). Son varios los reportes en la literatura que plantean el beneficio de consumir betabel, tales, son los casos de Gómez-Cipriano, *et al*., (2022); Monroy, (2023), los cuales exponen, que es una hortaliza de uso versátil que aporta amplios beneficios a la salud por lo cual se ha utilizado como terapia en diversas enfermedades, debido a su alto contenido en vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes.

En México se siembra todo el año, en todos los estados de la república, con una producción nacional de 18,158.8 toneladas, lo que representa un valor aproximado de 105,424.84 millones de pesos. Las entidades líderes en producción son: Puebla, 10,734 t; Jalisco, 3,373 t y Estado de México, 1,406 t (SADER, 2023). De acuerdo con Scavo (2022), el betabel es un cultivo que su calidad depende de un crecimiento rápido y continuo, para lo cual el suelo debe estar abastecido de los elementos nutritivos necesarios; aunque ha sido un cultivo poco estudiado en cuanto a los requerimientos nutrimentales. De igual modo es conocido que el exceso de fertilización químico mineral, es una de las causas de los desequilibrios naturales de los suelos agrícolas, lo que exige un cambio en el manejo tradicional que se le dan a estos (Lino, *et al*, 2021).

Antes esta situación los abonos orgánicos se presentan como una de las alternativas que mejoran las características de suelo como el intercambio catiónico, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, el fosforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión (FAO, 2023). Es sabido que la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos puede ser más efectiva que solo el uso de fertilizantes químicos, mejorando la disponibilidad de nutrientes y la productividad de los cultivos. Además, de las alternativas mencionadas, se presentan los bio-productos, donde se encuentran las soluciones acuosas de microalgas. Los biofertilizantes a base de microalgas se caracterizan por ser productos bioactivos solubles en agua, que promueven la germinación, el desarrollo de los cultivos y la sustitución parcial de fertilizantes químico-mineral en la agricultura y más específicamente en la horticultura (Norrie y Keathley 2005; Hernández *et al.,*

2014; Apolinar *et al*, 2018). El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de la microalga *Chorela vulgaris* en conjunto con la fertilización órgano-mineral en algunas características del suelo, tales como contenido de materia orgánica, pH y conductividad eléctrica y su impacto en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de betabel, así como la posible reducción de la fertilización químico mineral, sin afectar la calidad y producción de la raíz carnosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec (ITSTL), perteneciente al municipio de igual nombre, localizado en la Sierra Norte del Estado de Puebla, México. El municipio se ubica entre los paralelos 19°38' y 20°03' de latitud norte; los meridianos 97°23' y 97°37'de longitud oeste; altitud entre 300 y 2,900 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INEGI, 2019).

El experimento se llevó a cabo durante dos periodos productivos, consistiendo en la aplicación foliar y al suelo donde se encontraba la planta de cultivo de la microalga (*Chorella vulgaris*), la cual se reprodujo a partir de la cepa original obtenida de la academia de acuicultura perteneciente al ITSTL, para lo cual se utilizó un foliar comercial de nombre "Bayfolan® Forte" a razón de 0.5 mL del foliar por cada litro de agua estéril, con aireación constante por 20 minutos, pasado este tiempo se inoculo con 52 mL de la cepa *Chlorella vulgaris* (Romo, 2002); (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2010). Diluyéndose 20 mL por litro de agua a aplicar al cultivo a los 16 días de reproducción, siendo las aplicaciones tres, a los 39, 54 y 69 días después de emergida (dde) las semillas, en los tratamientos, 100 % de fertilización química mineral (FM) y donde se redujo la FM al 25 y 50 % y se aplicaron 5 kg m^{-2}, de un portador de materia orgánica (MO), al suelo (composta a base de estiércol). Además, del tratamiento 100 % FM, sin microalga(testigo), cuadro 1.

De igual manera el cultivo fue fertilizado en el momento de la siembra, con la fórmula fertilizante recomendada por INIFAP, (2013) 120-45-150 kg por hectárea de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente. Se conformaron cuatro réplicas por tratamientos en camas de 5 m^2, con una densidad de 20 plantas por metro cuadrado. Con un diseño experimental de bloques al azar. La respuesta vegetal del cultivo se evaluó a los 48, 62, 76, 90, y al momento de la cosecha 104 días después de emergida dde las semillas. Las variables respuestas fueron: altura (cm) y número de hojas hasta el momento de cosecha; para evaluar en el momento de la recolección, diámetro polar y ecuatorial de la raíz tuberosa (cm) y su peso fresco (g); de igual modo se evaluó peso seco (g) de la parte aérea y raíz tuberosa, para determinar el índice de cosecha(IC): relación entre el peso seco de la raíz tuberosa (g) y el peso seco de la biomasa aérea (g), expresado en porcentaje, para lo cual se extrajeron 10 plantas por replicas, para el secado en estufa a 75 °C durante 72 horas, hasta peso constante; por su parte el rendimiento se evaluó en un metro cuadro del centro de cada replica.

El examen de suelo se realizó en el laboratorio de análisis de suelo del INECOL (Instituto de Ecología A.C) de Veracruz, según NOM-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), las determinaciones realizadas fueron: materia orgánica (%), conductividad eléctrica (C.E: mS/cm) y pH, cuadro 2. Con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos (cuadro 1) en las propiedades de suelo señaladas. Para lo cual, se tomaron muestras de suelo compuestas, tres réplicas en cada caso, de la zona de cultivo, tratamientos evaluados (T1, T2, T3 y T4) y del suelo sin tratamiento previo (T0), alrededor donde se estaba realizando el estudio, con un diseño totalmente aleatorio. En todos los casos la información estadística, se procesó con el paquete *The SAS System for Windows* 9, versión en español, según diseño experimental. En los casos de datos en porcentaje, se ejecutó la transformación angular (Arcoseno) o de Bliss, Arcoseno= √ % de calidades/100, como se indica en estos casos, para el procesamiento estadístico.

Cuadro1. Tratamientos de fertilización aplicados al Betabel.

Tratamientos	Leyenda
1	100 % FM
2	100 % FM + *Chorela vulgaris*
3	75 % FM + 5 kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*
4	50 % FM + 5 Kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*

FM = fertilizante mineral; MO = materia orgánica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó un efecto significativo *($p \leq 0.05$)*, en las variables M.O, C.E y pH (cuadro 2), al comparar los valores de las mismas, entre el suelo no tratado y el suelo afectado por los tratamientos, presentando efectos positivos, cuando se utiliza la microalga; resultados que se refuerzan, si es combinada con la aplicación edáfica del portador de materia orgánica, no siendo así en la utilización del 100 % de la FM.

Cuadro 2. Análisis químico de las muestras de suelo, determinación de materia orgánica (M.O %); conductividad eléctrica (C.E: mS/cm) y acidez (pH).

Tratamientos	M.O	C.E	pH
Suelo no alterado	6.17 a	0.121 c	7.06 a
100 % FM	3.36 c	0.891 c	5.74 d
100 % FM + *Chorela vulgaris*	4.12 b	0.635 b	6.22 c
75 % FM + 5 kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*	5.45 a	0.223 c	6.61 b
50 % FM + 5 Kg m-2 de MO + *Chorela vulgaris*	5.48 a	0.212 c	6.65 b
DSM_n	-	0.1047*	0.3385*
CV (%)	4.40	3.82	2.88

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * (*p α 0.05*); DSMn (Diferencia significativa mínima) y Coeficiente de variación (CV).

Para el caso de la M.O, no hubo diferencias significativas entre los valores del suelo no alterado y los tratamientos de FM + 5 kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*, para ambas reducciones 75 y 50 % de FM, seguido

del 100 % de FM + *Chorela vulgaris*. En este sentido, Chamizo, *et al*., (2018), han expresado que las microalgas se pueden inocular al suelo, siendo una fuente de carbono orgánico y mejorar la calidad del mismo. De igual manera sea reportado que estos microrganismos producen y secretan sustancias poliméricas extracelulares, las cuales aumentan el contenido de materia orgánica del suelo y su estabilidad (Rossi, *et al*., 2017). Benedicto-Valdés, *et al*., (2019), encontraron incrementos significativos para los tenores de materia orgánica y carbono orgánico de suelo, cuando se aplicó un abono orgánico de forma edáfica.

Por su parte la C.E, tiene una tendencia similar, siendo afectada negativamente por el 100 % de la FM, atenuándose el efecto cuando esta se combina con la microalga, la cual mejora sustancialmente con el empleo del portador de materia orgánica. Cuanto mayor sea la concentración de sales, mayor será la conductividad eléctrica, como ocurrió en el tratamiento con FM sola. Es sabido que *Chorela vulgaris* remueve los nitratos, fosfatos, metales pesados y otros elementos presentes en grandes cantidades en aguas residuales, produciendo la detoxificación biológica (Molazadeh *et al*., 2019). En este orden Koziel, *et al*., (2019), exponen que la adición de *C. vulgaris* en los suelos reduce el contenido de nitrato en suelos no inundados. Mientras que los abonos orgánicos, mejoran la estructura del suelo y la retención de agua, lo que afecta la movilidad de iones. De igual manera forma un complejo arcilloso-húmico que tiene carga negativa, lo que reduce la solubilidad de iones y, por lo tanto, la conductividad eléctrica (Acevedo *et al*., 2014).

En cuanto el pH, los efectos producidos por las variantes de estudios son parecidos a las variables anteriores. Malpartida *et al*. (2022), expresan que, las microalgas tienen un alto contenido de proteínas y aminoácidos básicos, además de minerales como calcio, magnesio y potasio, que tienen un efecto alcalinizante en el suelo. Paralelamente, los portadores de abonos orgánicos, están formados por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición, interviniendo en las propiedades químicas del suelo, aumenta la CIC y la capacidad tampón sobre la reacción del suelo (pH) (Martínez, *et al*., 2008). Otros autores han encontrado que la incorporación de abonos orgánicos al suelo, ha permitido incrementar el pH de 5.5 a 6.4, atribuyéndose al enriquecimiento de cationes presentes en los abonos orgánicos, mientras que los fertilizantes químicos propiciaron un decremento del pH (Liu *et al*. 2010). Según estos propios autores hay un ligero incremento en la C.E, sin llegar a afectar la productividad de los cultivos, producto de la aplicación de los abonos orgánicos y los minerales que lo constituyen.

A continuación, se muestran las figuras 1 y 2, las cuales presentan las respuestas de las variables altura y número de hojas, desde los 48 dde hasta los 104 dde el cultivo, momento de la cosecha de la raíz tuberosa, ambas presentaron diferencias significativas *($p \leq 0,05$)*, a favor de los tratamientos que tuvieron aplicación de la microalga *Chorela vulgaris*, acentuándose la diferencia cuando se redujo la fertilización mineral y se combinó

con la aplicación edáfica del portador de materia orgánica. Nótese que los valores de altura son mayores en los tratamientos 2(FM 100 % + *C. vulgaris*), 3 (75 % FM + 5 kg m^{-2} MO + *C. vulgaris*) y 4(50 % FM +5 kg m^{-2} MO + *C. vulgaris*), diferencia que se presentó desde los 48 dde las semillas. Mientras que el número de hojas aumenta gradualmente en todos los casos, con diferencias significativa a los 76 dde las semillas a favor de los tratamientos antes señalados, habiendo una caída drástica de la variable a los 104 dde, ocurriendo una transición de la relación fuente-sumidero de la parte vegetativa a la raíz carnosa (Casierra-Posada y Pinto-Correa, 2011); efecto que es más marcado con el empleo de *C. vulgaris* y cuando esta se combina con las reducciones de la FM de 25 y 50 % y se combina un portador de materia orgánica aplicado edáficamente (Lino, *et al*., 2025).

Este resultado es debido a la composición bioquímica de las microalgas, en lo fundamental *Chlorella vulgaris*, incluye proteínas, clorofila, pigmentos, carbohidratos y lípidos, entre otros. Compuestos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de cultivos agrícolas, ya que estimulan la síntesis de proteínas, mejoran la tolerancia al estrés, regulan el crecimiento y desarrollo de raíces y brotes (Gómez-Luna, *et al.,* 2022).

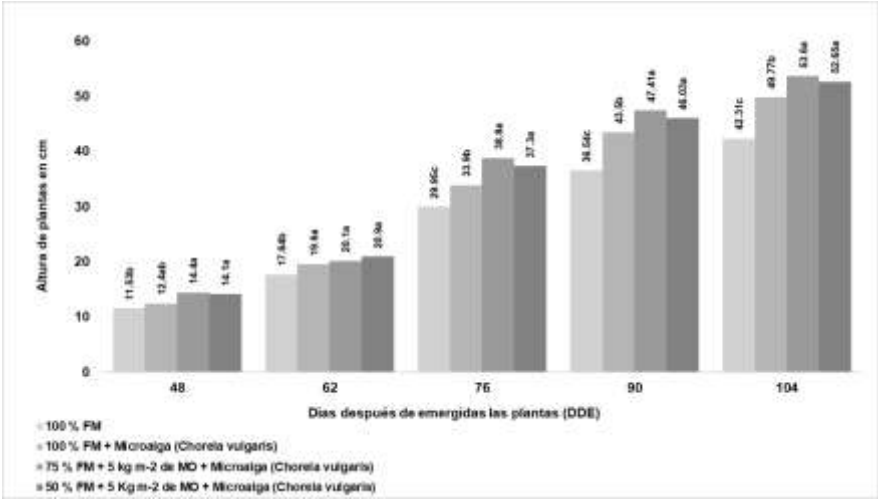


Figura 1. Altura (cm) de plantas de betabel a los 48, 62, 76, 90 y 104 días de emergidas (dde) las plantas. Respuesta a diferentes manejos de fertilización. Diferencia significativa mínima (DSMn): 2.12, 1.69, 2.03, 2.42 y 2.20. Coeficiente de variación (CV): 10.10, 5.42, 3.62, 3.49 y 2.77. * (P≤ 0.05).

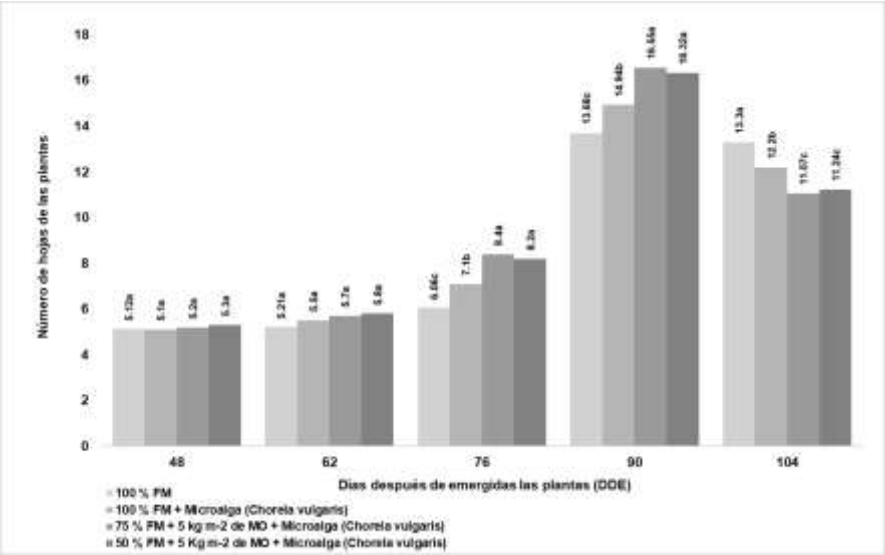


Figura 2. Número de hojas de plantas de betabel a los 48, 62, 76, 90 y 104 días de emergidas (dde) las plantas. Respuesta a diferentes manejos de fertilización. Diferencia significativa mínima (DSMn): 0.214, 0.658, 0.596, 0.845 y 0.587. Coeficiente de variación (CV): 2.59, 7.41, 5.01, 3.44 y 3.07.

Seguidamente, la figura 3, exhibe los datos de la variable índice de cosecha (IC), al momento de la misma. Presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$), para los distintos manejos de nutrición del cultivo. Los resultados reflejan que el material presenta un apropiado IC para el testigo 70.34 %, Sohel, *et al.*, (2021), plantea que un IC por encima del 60 % son valores de cultivos en condiciones de manejo adecuadas. Los cuales fueron mejorados, significativamente, con las variantes de manejo nutrimental, destacando cuando la microalga *Chlorella vulgaris*, se combinó con reducciones del 25 y 50 % de la fertilización mineral y el empleo de un portador de materia orgánica, aun resultado similar llegó (Lino, *et al*., 2025), en el cultivo de zanahoria.

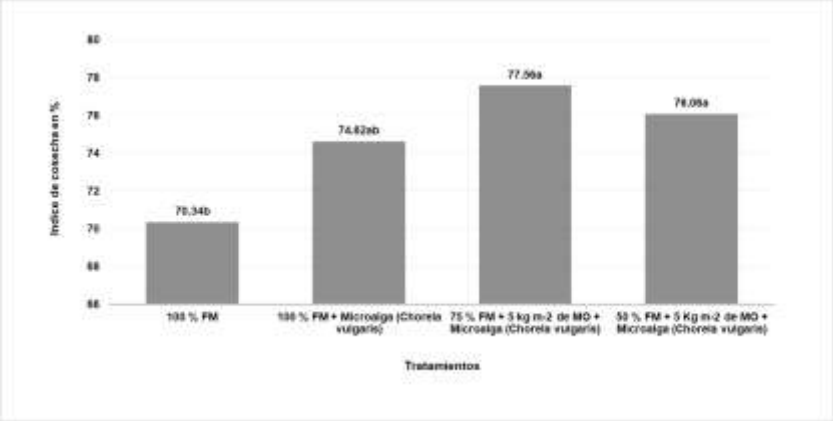


Figura 3. Índice de cosecha a los 104 días de emergidas (dde) las plantas. Respuesta a diferentes manejos de fertilización. Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($P \leq 0.05$) (CV): 3.80.

Consecutivamente el cuadro 3, expone los resultados del rendimiento y sus componentes. Con diferencias significativas ($p \leq 0.05$), para las variables diámetro ecuatorial de raíz tuberosa, peso promedio de raíz tuberosa

y rendimiento. Los mejores resultados, se observan en las variantes de manejo nutrimental, que utilizaron la *Chlorella vulgaris* y cuando el microrganismo se vinculó con la nutrición bio-órgano mineral y las reducciones de la fertilización mineral, tendencia mostrada durante la investigación. En este sentido las microalgas S*pirulina* y *Chlorella*, poseen varios compuestos bioactivos, como aminoácidos, vitaminas y antioxidantes, que ayudan a las plantas a mejorar sus funciones fisiológicas, permitiendo que los cultivos se desarrollen de manera más eficiente y produzcan resultados superiores, efectos que se incrementan con el empleo de un portador orgánico. (Braun y Colla, 2023; Marín-Marín *et al.,* 2024).

Cuadro 3. Componentes del rendimiento: largo(cm), diámetro(cm) y peso(g) promedio de raíz tuberosa. Rendimiento de la raíz tuberosa (kg m^{-2}).

Tratamientos	LRT	DET	PPT	Rendimiento (kg m^{-2})
1	7.38	7.85 c	200.44 c	4.01 c
2	7.43	8.05 b	221.74 b	4.43 b
3	7.19	8.30 a	269.71 a	5.39 a
4	7.27	8.06 b	252.59 a	5.04 a
DSM_n	0.350*^{ns}	0.147*	20.40*	0.413*
CV (%)	4.85	5.76	5.62	6.60

ns (no significativa), (P≤ 0.05) *; (Diferencia significativa mínima). Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * (P≤ 0.05); DSMn (Diferencia significativa mínima); LRT: largo de raíz tuberosa; DET: diámetro ecuatorial de raíz tuberosa y PPT: peso promedio de raíz tuberosa.

CONCLUSIONES

La investigación permite concluir que la microalga *C. vulgaris*, estimula, el crecimiento y desarrollo del cultivo de betabel. Además, de una mayor eficiencia del mismo, en la conversión de la biomasa total en partes comestible en la raíz tuberosa. Por consecuencia un mayor rendimiento y tamaño del órgano de cosecha. De igual manera, contribuye a la mejora de los contenidos de M.O, pH y C.E del suelo. Efecto que se potencializa en todos los casos al combinarla con el portador de materia orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, I., Contreras, J., González, R., Acevedo, I., & García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, 31(3), 325-340.

Apolinar, M., Lino, A., Dionisio, M. G., García, A., Rosas, C. y Diana Agustín, D. (comps.). 2018. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. Año 2, Núm. 1, 1849 p.

Benedicto-Valdés, G. S., Montoya-García, C. O., Vicente-Hernández, Z., Ramírez-Ayala, C. y Escalante-Estrada, J. A. S. (2019). Incorporación de Abonos Orgánicos y Liberación de C-CO2 como Indicador de la Mineralización del Carbono. *Ecosist. Recur. Agropec*. 6(18):513-522, ISSN: 2007-9028 E. ISSN: 2007-901X, DOI:10.19136/era.a6n18.2022

Bonifaz, J. N. (2024). El Uso de la Remolacha como Colorante Vegetal. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 5 (9): 135-155. ISSN 2953-6367, http://revistainvestigo.com

Braun, J. C., y Colla, L. M. (2023). Use of microalgae for the development of biofertilizers and biostimulants. *BioEnergy Research*, 16(1): 289-310. DOI: https://doi.org/10.1007/s12155-022-10456-8

Casierra-Posada, F., y Pinto-Correa, J. R. (2011). Crecimiento de plantas de remolacha (Beta vulgaris L. var. Crosby Egipcia) bajo coberturas de color. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *64*(2), 6081-6091.

Chamizo, S, Mugnai, G, Rossi F, Certini G, De Philippis R. (2018). Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration. *Frontiers in Environmental Science*., 6:49.

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, (2010). Protocolo: Cultivó de Microalgas. Recuperado de https://www.academia.edu/8656000/ Protocolo-microalgas. (consultado 25/11/2025).

Gómez-Cipriano, et al., (2022);

Gómez-Cipriano, J., Zafra-Rojas, Q. Y., Cruz-Cansino, N. del S., Martínez-Román, M. E., Ramírez-Moreno, E. y García-Rosales, R. U. Uso del Betabel (Beta vulgaris) como Tratamiento Alternativo en la Anemia Ferropénica. (2022). Educación y Salud Boletín Científico, 10, (20): 160-166, ISSN: 2007-4573, https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/issue/archive

Gómez-Luna, L., Tormos-Cedeño, L. y Ortega-Díaz, Y. (2022). Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura. *Tecnología Química*, 42 (1): 70-93. versión On-line ISSN 2224-6185

Hernández-Herrera, R. M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M. A. Ruiz-López, J. Norrie and G. Hernández-Carmona. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (Solanum lycopersicum L.). *J. Appl. Phycol.* 26(1):619-628.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019). Compendio de información Tlatlauquitepec, Puebla. https://www.inegi.org.mx/temas/mg/ (consultado, 24/01/2025).

INIFAP, (2013). (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Libro Técnico Núm. 3, ISBN: 978-607-37-0188-4.

Koziel, W., K. Jaromin-Glen, C. Polakowski, A. Walkiewicz, et al. (2019). Effect of encapsulated and free-living cells of Chlorella vulgaris L. on nitrogen retention in soils. International Agrophysics, 33(1), pp. 127-136, doi: 10.31545/intagr/104415

Lino, A., Apolinar, M. y Arozarena, N. J. (2025). Efecto de Microalga (*Chorela vulgaris*) en la Fertilización Mineral y Órgano Mineral en Zanahoria (*Daucus carota* L.), en Invernadero. *Revista Tecnológica CEA*, 29 (1): 239- 253, ISSN 25940414, disponible en: www.revistateconologicacea.mx

Lino, A., Apolinar, M., Arozarena, N. J., González, P., J. y Zambrano, J. M. (2021). Evaluación del Efecto de Chorela vulgaris en la fertilización del Cilantro (Coriandrum Sativum L.), en Invernadero. Revista Ingeniantes; 2 (1): 39-45, ISSN 2395-9452.

Liu E, Yan C, Mei X, He W, Bing SH, Ding L, et al. (2010) Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma 158: 173-180.

Malpartida, R., Aldana, L., Sánchez, K., Gómez, L., and Lobo, J. (2022). El valor nutricional y compuestos bioactivos de la Espirulina: Potencial suplemento alimenticio. Ecuadorian Science Journal, 6(1), 42-51. https://doi.org/10.46480/esj.6.1.133

Marín-Marín, C. A., Estrada, J. A., Delgado-Naranjo, J. M., Zapata-Ocampo, P. A., y Peñuela Vásquez, M. (2024). Cyanobacteria and microalgae as potential sources of biofertilizers: a review. *Actualidades Biológicas*, 46(120). https://doi.org/10.17533/udea.acbi/v46n120a06

Molazadeh, M., Ahmadzadeh, H., Pourianfar, H., Lyon, S., y Rampelotto, P. (2019). The use of microalgae for coupling wastewater treatment with CO2 biofixation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. doi:10.3389/ f bioe.2019.00042.

Monroy, N. E. (2023). Estudio de la Sinergia de los Compuestos Bioactivos y Nutricionales del Betabel (Beta vulgaris) en la Salud y la Ergogénia en la Actividad Física, Mediante la Construcción de un Mapa Biológico. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3776/MOONRR00T.PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Norrie, J. and J. P. Keathley. (2005). Benefits of Ascophyllum nodosum marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. Acta Hortic. 727(1):243-248.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). The Future of Food and Agriculture. (consultado, 26/11/2025). Disponible en: https://www.fao.org/home/es

Romo, A., K., (2002). Manual para el cultivo de microalgas (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma De Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México. UABCS 57 pp.

Rossi, F, Li H, Liu Y, De Philippis R. (2017). Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal. *Earth-Science Reviews*, 171:28–43.

SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural), (2023). El betabel (Beta vulgaris), también conocido como remolacha o betarraga, es una hortaliza que se cultiva principalmente por su raíz, aunque sus hojas

verdes también son comestibles y se utilizan en algunas preparaciones culinarias. (Consultado, diciembre, 2025). Disponible en: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-betabel-un-tesoro-bajo-la-tierra-349725

Scavo, A., Fontanazza, S., Restuccia, A., Pesce, G. R., Abbate, C., y Mauromicale, G. (2022). The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 1-25. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00825-0

SEMARNAT (secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial (segunda sección).

Sohel, M. A. T., Hossain, M. A. E., Rahman, A. M. S., Shanta, F. H., y Rajib, M. R. R. (2021). Yield and Quality of Some Tropical Sugarbeet Genotypes Under Bangladesh Conditions. Bangladesh Agronomy Journal, 24(2), 55-61.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

APLICACIÓN DE QUITOSAN EN LA PRODUCCIÓN DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.)

Gustavo F. Ibarra Calero[1], Eduardo E. Camargo Gonzalez[1], Rodrigo Ramírez Rodríguez[2§], Paulino Vega Rodríguez[2], Juan C. González Morales[2], Luis P. Guevara Acevedo[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato.[2]TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. [§]Autor de correspondencia: rodrigo.rr@roque.tecnm.mx.

RESUMEN

El objetivo del experimento fue evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre parámetros de producción en el cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Se manejo un diseño experimental de bloque al azar, con aplicaciones foliares de: 670 µg mL^{-1} de quitosan, 5 mL L^{-1} de extracto de algas Alga, la mezcla de ambos productos y un testigo comercial con aplicación de 3 mL L^{-1} de PRO90®. Se realizaron 3 aplicaciones en 3 surcos con repeticiones de 3.5 m con separación de 1 m entre unidad experimental, 15 d después de la última aplicación se hizo el conteo de flores y 30 d posteriores se contó el cuajado de frutos definido. El análisis de varianza mostros resultados significativos (P≤0.05), entre los tratamientos para el factor de numero de flores y altamente significativos (P≤0.01) para las variables de fructificación y prendimiento, mostrando que la combinación de quitosan + extracto de algas tuvo el mayor efecto en las tres variables mostrando porcentajes de floración (99.70%), fructificación (88.18%) y prendimiento (88.40%). A esto se concluye que la combinación con quitosan + extracto de algas mostro efectos importantes en el número de flores e incremento la fructificación y el prendimiento en el cultivo de garbanzo.

Palabras clave: *algas marinas, quitosan, microorganismos, biomoléculas, análisis, prendimiento.*

ABSTRACT

The objective of this experiment was to evaluate the effect of biofertilizer application on production parameters in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivation. A randomized block design was used, with foliar applications of: 33.5 mL L^{-1} of chitosan, 5 mL L^{-1} of Alga seaweed extract, a mixture of both products, and a commercial control with an application of 3 mL L^{-1} of PRO90®. Three applications were made in three rows with replicates of 3.5 m, separated by 1 m between experimental units. Flower counts were performed 15 days after the last application, and fruit set was recorded 30 days later. The analysis of variance showed significant results (P≤0.05) among treatments for the number of flowers and highly significant results (P≤0.01) for the fruiting and rooting variables. The combination of chitosan and seaweed extract had the greatest effect on all three variables, showing the highest percentages of flowering (99.70%), fruiting (88.18%), and rooting (88.40%). Therefore, it is concluded

that the combination of chitosan and seaweed extract showed significant effects on the number of flowers and increased fruiting and rooting in chickpea cultivation.

Keywords: Seaweed, Chitosan, Microorganisms, Biomolecules, Analysis, Rooting.

INTRODUCCIÓN

El garbanzo (*Cicer arietinum L.*), se considera como una de las leguminosas de importancia por su consumo, ya que contiene el 20% de proteína y 67% de carbohidratos (Retes, 2023). A nivel global de este grano se sitúa principalmente en India, Pakistán, Turquía y Australia, donde en conjunto proporcionan el 90% del total de producción. En México se cultivan anualmente alrededor de 100 000 ha de garbanzo, de las cuales el 80% proviene de grano blanco o "kabuli" y el 20% restante de tipo desi (Padro-García *et al*, 2020).

Este cultivo ofrece condiciones donde puede crecer con una baja disponibilidad de agua, ya que es tolerante a las sequias y mitiga el efecto del cambio climático (Toledo, 2020), la temperatura óptima para el crecimiento, floración y el desarrollo de vainas, varía entre los 20 a 28°C (Jara, 2020), así mismo su fenología comprende la adaptación, respuesta y los factores ambientales, así mismo predice cambios el cual lo puede llevar a mejorar la productividad (Molinet, 2025). Sin embargo, el garbanzo se puede ver afectado por factores bióticos y abióticos que limitan su crecimiento y los procesos fisiológicos de la planta (Echevarría *et al,* 2019), dadas las circunstancias el uso de bioestimulante tiene el propósito de estimular la eficiencia en la nutrición y la tolerancia a estreses abióticos, esto como un método sugerido para afrontar esta problemática (Martínez-Gonzáles *et al,* 2021), entre ellos se encuentra el quitosan el cual actúa como activador del crecimiento y mejoradores de los rendimientos en cultivos agrícolas (Jiménez, 2015), así mismo los efectos biológicos resultantes se encuentran la inhibición del crecimiento y desarrollo de microorganismos patógenos que incluyen hongos y bacterias (Costales, 2017).

Otro compuesto lo constituyen las algas, que es un recurso natural que está siendo utilizado como biofertilizante para el desarrollo del cultivo (Hues-López., 2019), ya que son considerados insumos ecológicos, biodegradables, no tóxicos y seguros para la salud animal y humana (Espinosa-Antón *et al,* 2020). Actualmente, estos extractos han ganado aceptación, ya que conlleva a respuestas fisiológicas en las plantas, como el crecimiento vegetal, el mejoramiento de la floración y rendimiento, estimulación de la calidad y contenido nutricional del producto comestible (Martínez-González *et al,* 2020). Es por ello que el objetivo es evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes foliares sobre los parámetros de floración, fructificación y prendimiento en el cultivo de garbanzo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio tuvo lugar en las parcelas didácticas del Tecnológico Nacional de México campus Roque en una superficie de 162 m^2, donde previamente el suelo fue preparado con un rastreo y posterior se trazaron surcos a una distancia de 75 cm entre surco. Se manejo un diseño experimental de bloques al azar considerando aplicaciones foliares de: 670 µg mL^{-1} de quitosan (ALDAICH), 5 mL L^{-1} de extracto de algas Alga (Growth®), la mezcla de ambos productos y un testigo comercial con aplicación de 3 mL L^{-1} de PRO90® (Los Pro del Campo). A cada tratamiento se le suministro 1 mL L^{-1} adherente AgregaSuper®. Las aplicaciones se realizaron cada 15 días. Las unidades experimentales conforman 3 surcos con repeticiones de 3.5 m con separación de 1 m entre unidades.

Las aplicaciones foliares se iniciaron a los 30 d después la emergencia de la semilla, esto tomando en cuenta la estandarización del cultivo. Se hicieron en total 3 aplicaciones foliares. A los 15 d después de la última aplicación se realizó el conteo de flores por unidad experimental y posterior a esto a los 30 d se hizo conteo teniendo un cuajado de frutos definido. Con los resultados de las variables de estudio se realizó un análisis de varianza con un diseño experimental de bloques al azar con 4 bloques, 3 tratamientos y un testigo y cuando este presento diferencias se realizó una prueba de medias Tukey (95%), todo mediante el sistema SAS® 9.4 For Windows x6 Based Systems (2023)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, el análisis de varianza mostros resultados significativos ($P \leq 0.05$), entre los tratamientos para el factor de numero de flores y altamente significativos ($P \leq 0.01$) para las variables de fructificación y prendimiento lo cual nos establece que los productos aplicados de manera foliar impactaron positivamente en la reproducción del cultivo; así mismo no se detectaron diferencias significativas en bloque (B) y bloque x tratamiento teniendo una similitud con respuestas similares entre tratamientos.

El coeficiente de variación y fructificación registrados reflejo un porcentaje del 29.88% considerándose moderada, por el contrario, el prendimiento registro el 6.83% teniendo un impacto aceptable experimentalmente. Los valores obtenidos de R^2 determinan un análisis estadístico bueno, ya que explica el comportamiento de las variables estudiadas.

Cuadro 1. Cuadrado medio de las variables número de flores, fructificación y prendimiento por efecto de la aplicación de biomoléculas en el cultivo de garbanzo.

		Cuadrado Medio		
FV	gl	No. Flores	Fructificación	Prendimiento
Trat (T)	3	2439*	2501.45**	304.3**
Bloq (B)	1	35.37^{ns}	0.2761^{ns}	82.9^{ns}
B x T	3	438.86^{ns}	348.83^{ns}	80.31^{ns}
EE	8	385.33	1887.3	245.61
TOTAL	15	-	-	-
CV		29.8	29.8	6.8
R^2		0.737	0.819	0.834

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05).

Los resultados del análisis estadístico indicaron que los tratamientos foliares presentaron diferencias significativas para los factores de floración, fructificación y prendimiento, contemplando que la combinación de quitosan + extracto de algas tuvo el mayor efecto en las tres variables con porcentaje de floración del 99.70%, en fructificación del 88.18% y en prendimiento del 88.40% superando al quitosan, extracto de algas y al testigo comercial PRO90® (Los pros del campo) (Cuadro 2). Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Robledo-Torres, (2026) el cual menciona que el quitosano y el uso de titanato de hidrogeno tienen un impacto positivo mejorando el número de botones y vainas en el cultivo de frijol; Lambert, (2019) obtuvo resultados similares mostrando que el quitosano + microorganismos eficientes conllevan potencializar el crecimiento de la planta así mis a tener mayores rendimientos tanto en maní como en frijol.

Valencia-Vásquez *et al*., (2024) mencionan que las aplicaciones de nitrato de zinc más quitosan nos da una elevación en el rendimiento, contenido de zinc en el fruto y la producción de biomasa en frijol, esto también favoreciendo la actividad fotosintética, por el contrario de acuerdo con Reyes-Pérez *et al.,* (2021) la aplicación de quitosan a dosis de 2 g L^{-1} en condiciones de invernadero da mejor desarrollo de planta y mayor fructificación teniendo mayores rendimientos en el cultivo de tomate.

Cuadro 2. Efecto de la aplicación de biomoléculas en parámetros de producción en el cultivo de garbanzo.

No.	Tratamientos	Dosis	Floración	Fructificación	Prendimiento
1	Quitosan	670 µg mL^{-1}	61.48 ab	51.25 b	83.358 a
2	Extracto de algas	5 mL L^{-1}	61.05 ab	50.68 b	83.933 a
3	Quitosan + Extracto de algas	670 µg mL^{-1} + 5 mL L^{-1}	99.70 a	88.18 a	88.408 a
4	TC	3 mL L^{-1}	40.53 b	27.73 b	68.383 b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, TC=Testigo Comercial PRO90® (Los Pro del Campo).

CONCLUSIONES

Para producción de garbanzo, se recomienda aplicaciones foliares de la combinación con Quitosan + Extracto de algas aplicado a una dosis de 670 µg mL^{-1} + 5 mL L^{-1} debido a que se aumenta en mas 29 % el número de flores, fructificación y el prendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costales, D., Nápoles, M. C., Falcón, A. B., González Anta, G., Ferreira, A., & Rossi, A. (2017). *Influencia de quitosanas en la nodulación y el crecimiento vegetativo de soya (Glycine max L. Merrill). Cultivos Tropicales, 38*(1), 138-146.

Echevarría, A., Triana, A., Rivero, D., Rodríguez, A., & Martínez, B. (2019). *Generalidades del cultivo de garbanzo y alternativa biológica para el control de la marchitez*. *Cultivos Tropicales, 40*(4).

Evaluación de la aplicación de quitosana sobre parámetros agronómicos del cultivo de tomate H-3108 (Solanum lycopersicum L.) en casas de cultivo protegido. (2015). *Centro Agrícola*.

Jara Salazar, R. (2020). *Evaluación de variedades de garbanzos producidos bajo distintos tratamientos de fertilización y condición hídrica en la región de Valparaíso* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile].

Lambert T., Santiesteban R., Ceiro W., Fernández M., López G., Corrales W. (2019*). Efecto de bioproductos en la producción de Phaseolus vulgaris L. y Arachis hypogea L. Revista de Ciencias Agrícolas, 36*(1), 59-66.

López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2021*). Uso de bioestimulantes en el cultivo del garbanzo*. *Cultivos Tropicales, 42*(4).

Molinet Salas, D., Maceo Ramos, Y. C., Matos Yero, R., & Lescay Batista, E. (2025). *Determinación de las fases reproductivas de cultivares de garbanzo (Cicer arietinum L.) en la provincia Granma*. *Agrotecnia de Cuba, 49*.

Prado-García, A. A., Valencia, H., Medina-Mendoza, J., & Acosta-Gallegos, J. A. (s.f.). (2022). *Rendimiento de garbanzo blanco con solo riego de presiembra en dos localidades de Guanajuato*.

Retes López, R., Moreno Medina, S., Ibarra Flores, F. A., Martín Rivera, M. H., & McCaughey Espinoza, D. M. (2023). *Análisis del cultivo de garbanzo en Sonora asociado a su rentabilidad, ciclos 2018-2019 al 2022-2023*. *Revista Mexicana de Agronegocios*.

Reyes-Pérez J., Rivero-Herrada M., García-Bustamante E., Beltran-Morales F., Ruiz-Espinoza F. (2020). *Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum L.) en condiciones de invernadero. Biotecnia.*

Roblero-Torres E., Castro-Velázquez V., Rodríguez-González V., González-Moscoso M. (2007). Efecto bioestimulante de nanopartículas en titanatos de hidrogeno con quitosano en frijol Frailescano, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 16i30. 40-49.

Toledo, R. (s.f.). *Ecofisiología de garbanzo (Cicer arietinum L.)*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

Valencia-Vázquez B., Palacio-Márquez A., Ramírez-Estrada C., Pérez-Álvarez S., Rivas-Lucero B.Sánchez E. (2024). Nitrato de zinc más quitosano favorece la asimilación de carbono y el rendimiento en frijol *(Phaseolus vulgaris L.),* Agronomía Mesoamericana, 35, Articulo 58742.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE FRIJOL EN CONDICIONES DE SEQUÍA

Odilón Gayosso-Barragán§[1], José Ángel Marroquín Morales[2], Dreyli M. Hidalgo Ramos[3], Ulises Aranda Lara[4], Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico[5]

[1]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar-INIFAP, Ojuelos de Jalisco, Jal., México. [2]Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP, Obregón, Sonora, México. [3]Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui-TecNM, Bácum, Sonora, México. [4]Campo Experimental Bajío-INIFAP, Celaya, Guanajuato, México. [5]Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP, Altamira, Tamaulipas, México. §Autor de correspondencia: gayosso.odilon@inifap.gob.mx

RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo estratégico en México, especialmente en regiones semiáridas donde predomina el sistema de temporal. Sin embargo, la baja precipitación y la limitada fertilidad de los suelos reducen su productividad y ponen en riesgo la seguridad alimentaria de los productores. Este estudio se realizó en Ojuelos, Jalisco, durante el ciclo agrícola 2025, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación foliar de ácido giberélico (AG_3) sobre el rendimiento de variedades de frijol cultivadas en el altiplano semiárido del Centro-Norte de México, como complemento a la fertilización del suelo. Se aplicaron tratamientos de AG_3 y fertilización foliar con urea + ácido fosfórico en etapas críticas de floración y llenado de vaina, registrándose variables de rendimiento de semilla, biomasa total, peso de 100 semillas e índice de cosecha. Los resultados mostraron que ambos tratamientos tuvieron efectos similares sin diferencias significativas, aunque la respuesta fue dependiente del genotipo. Algunas variedades, como Flor de Mayo Eugenia y Flor de Junio León, respondieron mejor al AG_3 con mayores rendimientos y biomasa, mientras que otras, como NSL 22 y Tepehuán RS, destacaron bajo fertilización foliar por su mayor eficiencia fisiológica reflejada en el índice de cosecha. El estudio confirma que la aplicación foliar de bioestimulantes como el ácido giberélico puede ser una estrategia sustentable para mitigar los efectos del déficit hídrico, favoreciendo procesos fisiológicos clave y mejorando la resiliencia del cultivo, asimismo, resalta la importancia de considerar la interacción entre tratamientos y variedades para optimizar el manejo agronómico en ambientes de temporal.

Palabras clave: *Fertilización foliar, prácticas sustentables, frijol de temporal.*

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a strategic crop in Mexico, particularly in semi-arid regions where rainfed systems predominate. However, low rainfall and limited soil fertility reduce its productivity and threaten food security for smallholder farmers. This study was conducted in Ojuelos, Jalisco, during the 2025 growing season, with the objective of evaluating the effect of foliar application of gibberellic acid (GA_3) on the yield of

bean varieties cultivated in the semi-arid highlands of North-Central Mexico, as a complement to soil fertilization. Treatments included GA_3 and foliar fertilization with urea + phosphoric acid applied at critical stages of flowering and pod filling, and yield-related variables were recorded, including seed yield, total biomass, 100-seed weight, and harvest index. Results showed that both treatments had similar effects without significant differences, although responses were genotype-dependent. Some varieties, such as Flor de Mayo Eugenia and Flor de Junio León, responded better to GA_3 with higher yields and biomass, while others, such as NSL 22 and Tepehuán RS, performed better under foliar fertilization due to greater physiological efficiency reflected in the harvest index. The study confirms that foliar application of biostimulants such as gibberellic acid can be a sustainable strategy to mitigate the effects of water deficit, enhancing key physiological processes and improving crop resilience, while also highlighting the importance of considering the interaction between treatments and varieties to optimize agronomic management in rainfed environments.

Keywords: *Foliar fertilization, sustainable practices, rainfed bean.*

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de alta relevancia agroalimentaria, cultivada en más de 36 millones de hectáreas a nivel mundial, con una producción anual de 27.6 millones de toneladas. En México, constituye un cultivo estratégico tanto por su valor nutricional como por su importancia socioeconómica para los productores de temporal (Gayosso-Barragán *et al*., 2025). En 2024, el 87 % de la superficie nacional sembrada (1,503,528 ha) se estableció bajo condiciones de temporal, con un rendimiento promedio de 560 kg ha^{-1}; en el altiplano semiárido del centro-norte del país, que concentra el 70 % de dicha superficie, el rendimiento promedio fue de apenas 434 kg ha^{-1} (SIAP, 2024). Las principales limitantes productivas en esta región son la escasa precipitación y la baja fertilidad del suelo. Aunque el mejoramiento genético ha permitido desarrollar cultivares más tolerantes a la sequía (Domínguez *et al*., 2019), la baja adopción de prácticas de fertilización convencional en zonas de alto riesgo climático limita el aprovechamiento de su potencial productivo. El estrés por sequía es uno de los factores más importantes que limitan el crecimiento y la productividad de los cultivos, en particular de las leguminosas en regiones áridas y semiáridas. Numerosas investigaciones se han centrado en mejorar la tolerancia a la sequía y la producción de frijol común mediante la selección de diversas características fisiológicas y genéticas (Beebe *et al*., 2013). Si bien el cambio climático está afectando negativamente las proyecciones de sequías futuras en muchas áreas, los efectos en la producción y la calidad nutricional del frijol común varían en las regiones más secas del mundo. La producción de frijol en condiciones de sequía requiere un enfoque integral que combine prácticas agronómicas, fisiológicas y de manejo del suelo para mitigar los efectos del estrés hídrico. En este contexto, la aplicación foliar de ácido giberélico (AG_3) se plantea como una estrategia complementaria eficaz, al estimular procesos fisiológicos clave como la elongación

celular, la floración y el desarrollo de frutos, incluso bajo estrés hídrico (Islam *et al*., 2023; Tripathi *et al*., 2025). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de AG_3 sobre el rendimiento de variedades de frijol cultivadas en el altiplano semiárido del Centro-Norte de México, como complemento a la fertilización del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar (CENID AF), en Ojuelos, Jalisco (21°33'00'' a 22°02'00'' N; 101°02'30'' a 101°53'00'' O), a una altitud de 2,100 metros, en condiciones de temporal de julio a septiembre de 2025. La preparación del terreno incluyó subsuelo y rastra, durante la siembra se aplicaron al suelo 100 kg ha^{-1} de fosfato diamónico (18-46-00), utilizando una sembradora mecánica en surcos separados a 75 cm, con una distancia promedio de 10 cm entre plantas. Las variedades evaluadas fueron: NSL 22, Flor de Junio León, Flor de Mayo Eugenia, Pinto Salinas, Negro Verdín, Flor de Mayo Dolores, NOD-1, Pinto Saltillo, Tepehuán RS, Pinto Rarámuri, Pinto Centauro y Pinto San Rafael; todas ellas han sido desarrolladas dentro del programa de mejoramiento genético de frijol del INIFAP y han mostrado buen rendimiento y adaptación a las condiciones semiáridas de la región de Ojuelos, Jalisco, donde previamente se han evaluado en condiciones de temporal. La parcela experimental se conformó por ocho surcos de 100 metros de longitud por cada variedad de frijol, estableciéndose un diseño en bloques completos al azar para la aplicación de los tratamientos, con tres repeticiones. Para evaluar el efecto del AG_3, en cada genotipo se aplicó de manera foliar en la etapa de floración y llenado de vaina (35 y 40 días después de la siembra), a una dosis de 10 g ha^{-1} del producto comercial Biogib®, además, se aplicó urea + ácido fosfórico a una dosis de 6 kg ha^{-1} y 3 L ha^{-1}, respectivamente. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las practicas agronómicas recomendadas, enfocadas en el control eficiente de plagas, enfermedades y malezas. A los 90 días después de la siembra, se cosecharon plantas completas en franjas de 100 metros de largo por 6.5 metros de ancho (8 surcos por genotipo). Se registraron las siguientes variables: rendimiento de semilla y biomasa seca aérea, determinados tras la trilla manual de todas las plantas correspondientes a cada unidad experimental y ajustados a un contenido de humedad del 12%, expresados en kg ha^{-1}; peso de 100 semillas (g), obtenido a partir de una submuestra de 100 semillas seleccionadas al azar por genotipo; biomasa seca total, calculada como la suma de la biomasa seca aérea y la biomasa seca de grano y el índice de cosecha. Los datos se analizaron mediante ANOVA y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

La distribución de la precipitación acumulada en el ciclo agrícola 2025 se presentó de manera desigual y condicionó el desarrollo del cultivo. La siembra coincidió con un periodo de lluvias relativamente estables (65

mm en la segunda quincena de julio), lo que favoreció la emergencia y el establecimiento inicial. Sin embargo, en agosto las precipitaciones descendieron drásticamente (16.6.mm) generando estrés hídrico durante las etapas críticas de floración y formación de vainas.

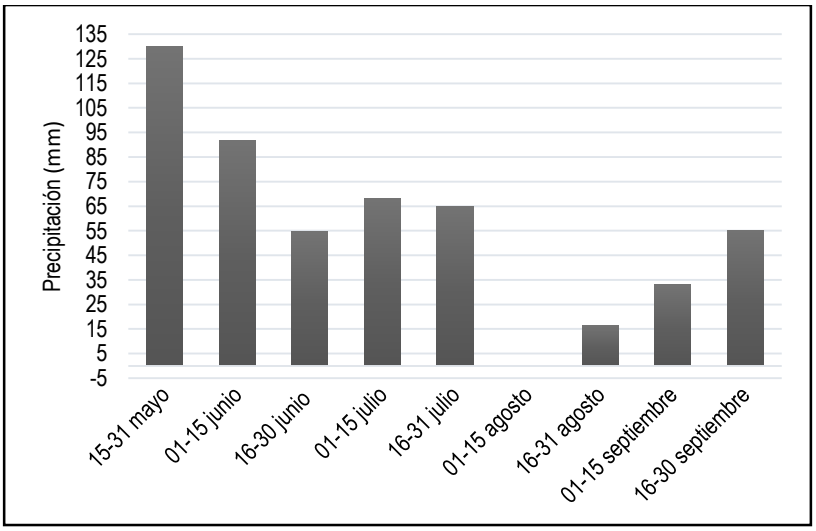


Figura 1. Distribución de la precipitación durante el ciclo agrícola primavera-verano 2025, en el CENID AF.

Respecto al análisis de varianza y comparación de medias, los resultados muestran que tanto la aplicación foliar de urea con ácido fosfórico (FF) como la de ácido giberélico (AG_3) ejercieron efectos similares sobre las variables agronómicas evaluadas bajo condiciones de estrés hídrico (Cuadro 1). El peso de 100 semillas se mantuvo cercano a 29 g en ambos tratamientos, sin diferencias estadísticas significativas. En cuanto al rendimiento de semilla, los valores oscilaron entre 930 y 950 kg ha^{-1}; específicamente, FF alcanzó un promedio de 929.72 kg ha^{-1}, mientras que AG_3 registró 954.49 kg ha^{-1}, lo que representa una diferencia numérica de 24.77 kg ha^{-1} a favor de AG_3, aunque sin significancia estadística. La biomasa total superó los 2,100 kg ha^{-1} en ambos casos, y el índice de cosecha (IC) permaneció constante en 0.46, reflejando una proporción estable de asignación de biomasa hacia el grano. En conjunto, estos resultados sugieren que tanto el ácido giberélico como la fertilización foliar con urea y ácido fosfórico contribuyen de manera equivalente al desempeño agronómico del frijol bajo condiciones de sequía.

Cuadro 1. Valores medios de variables agronómicas en variedades de frijol con la aplicación foliar de ácido giberélico y urea+ácido fosfórico bajo estrés hídrico.

	FF		AG_3		CV	DMS
Peso de 100 semillas (g)	29.08	a	28.61	a	5.14	0.57
Rendimiento semilla (kg ha^{-1})	929.72	a	954.49	a	20.93	77.03
Biomasa total (kg ha^{-1})	213.44	a	2232.13	a	20.88	177.96
IC	0.46	a	0.46	a	8.07	0.01

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, AG_3: Ácido giberélico, FF: fertilización foliar (urea + ácido fosfórico), CV: coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa, IC: índice de cosecha.

Para las variedades evaluadas, los resultados del Cuadro 2 muestran diferencias importantes entre variedades de frijol en cuanto a rendimiento, biomasa seca total e índice de cosecha bajo condiciones de estrés hídrico con aplicación foliar de ácido giberélico. Las variedades NSL 22 y Flor de Junio León destacaron con los mayores rendimientos, alcanzando 1137.57 y 1135.41 kg ha^{-1} respectivamente, mientras que Pinto Centauro y Pinto San Rafael registraron los valores más bajos, con 787.93 y 782.60 kg ha^{-1}. En biomasa seca total, las variedades Flor de Junio León y Flor de Mayo Eugenia sobresalieron con más de 3,100 kg ha^{-1}, en contraste con Tepehuán RS y Pinto San Rafael, que apenas superaron los 1,300 kg ha^{-1}. Respecto al índice de cosecha, Tepehuán RS presentó el valor más alto (0.62), seguido por Pinto San Rafael (0.60), mientras que Flor de Mayo Eugenia mostró el más bajo (0.34). En conjunto, los resultados evidencian una marcada variabilidad entre genotipos: algunos destacan por su mayor rendimiento, otros por su eficiencia en la asignación de biomasa hacia el grano.

Cuadro 2. Valores medios de variables de rendimiento en variedades de frijol con la aplicación foliar de ácido giberélico y urea+ácido fosfórico bajo estrés hídrico.

Variedades	Rendto (kg ha^{-1})		Biomasa/seca/total(kgha^{-1})		Índice/cosecha		P-100 semillas (g)	
NSL 22	1137.57	a	1975.07	bc	0.59	ab	29.43	cd
Flor de Junio León	1135.41	a	3182.29	a	0.36	cd	28.35	d
Flor de Mayo Eugenia	1114.98	ab	3313.42	a	0.34	d	29.72	cd
Pinto Salinas	1057.30	ab	2660.42	ab	0.40	cd	27.25	de
Negro Verdín	938.70	ab	1754.33	c	0.54	b	20.72	f
Flor de Mayo Dolores	904.01	ab	2554.01	ab	0.35	cd	27.90	de
NOD-1	901.60	ab	1634.41	c	0.55	b	18.60	f
Pinto Saltillo	816.20	ab	1966.20	bc	0.42	c	27.75	e
Tepehuán RS	813.62	ab	1304.25	c	0.62	a	25.81	e
Pinto Rarámuri	808.74	ab	1986.87	bc	0.40	cd	34.30	a
Pinto Centauro	787.93	b	2027.00	bc	0.39	cd	31.52	c
Pinto San Rafael	782.60	b	1296.66	c	0.60	ab	31.55	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

Los resultados obtenidos para el peso de 100 semillas muestran una marcada variabilidad entre las variedades de frijol evaluadas bajo condiciones de estrés hídrico (Tabla 2). Los valores oscilaron entre 18.60 g y 34.30 g, evidenciando diferencias significativas en la capacidad de las variedades para mantener el llenado de semilla. Las variedades con mayor peso fueron Pinto San Rafael (31.55 g), Flor de Mayo Eugenia (31.52 g) y especialmente Pinto Saltillo (34.30 g), que presentó el valor más alto. En contraste, NOD-1 (18.60 g) y Negro Verdín (20.72 g) registraron los valores más bajos. Al respecto, se ha documentado que la sequía ejerce un efecto directo y negativo sobre el peso de 100 semillas de frijol, considerado un componente clave del rendimiento. Bajo déficit hídrico, las plantas reducen su capacidad de asimilación y transporte de fotoasimilados hacia los órganos reproductivos, lo que limita el llenado de las semillas y provoca una disminución en su tamaño y peso. Estudios realizados en México han demostrado que, en condiciones de sequía, el peso de semilla puede reducirse significativamente en comparación con ambientes de riego, reflejando la sensibilidad de este carácter a la disponibilidad de agua. Además, la clasificación del tamaño de grano en variedades de frijol se realiza principalmente con base en el peso de 100 semillas, un parámetro estándar en la caracterización agronómica.

De acuerdo con la literatura técnica del INIFAP y otros estudios, los rangos más utilizados son los siguientes: Grano pequeño: menos de 25 g por cada 100 semillas, grano mediano: entre 25 y 35 g por cada 100 semillas, grano grande: más de 35 g por cada 100 semillas. Esta clasificación permite diferenciar variedades como Negro Verdín o NOD-1, que suelen ubicarse en la categoría de grano pequeño, frente a materiales como Pinto Saltillo o Flor de Mayo Eugenia, que se acercan al rango de grano mediano a grande.

Los resultados de la Tabla 3 muestran una interacción clara entre variedades y tratamientos en el rendimiento y sus componentes bajo condiciones de sequía. Algunas variedades respondieron mejor al ácido giberélico (AG_3), como Flor de Mayo Eugenia (1350.26 kg ha^{-1}) y Flor de Junio León (1338.50 kg ha^{-1}), que alcanzaron los mayores rendimientos y biomasa total, aunque con índices de cosecha relativamente bajos (0.33-0.37). En contraste, otras variedades como NSL 22 y Tepehuán RS destacaron bajo fertilización foliar (FF), mostrando índices de cosecha más altos (0.57–0.64), lo que refleja una mayor eficiencia en la asignación de biomasa hacia el grano, aun con rendimientos moderados. El peso de 100 semillas también evidenció diferencias genotípicas: Pinto Rarámuri (35.80 g con FF y 32.81 g con AG_3) y Pinto San Rafael (32.13 g con AG_3) lograron los valores más altos, mientras que NOD-1 y Negro Verdín registraron los más bajos (18–21 g), independientemente del tratamiento. Esto sugiere que la respuesta al estrés hídrico y a los bioestimulantes depende tanto del genotipo como del tipo de aplicación foliar, con algunas variedades mostrando ventajas en rendimiento, otras en peso de semilla y otras en eficiencia fisiológica.

Los efectos del GA_3 observados en este estudio coinciden con lo reportado por diversos autores, quienes destacan su potencial como bioestimulante en leguminosas sometidas a condiciones de estrés abiótico. Islam *et al*. (2023) documentaron que la aplicación de GA_3 mejora parámetros morfofisiológicos en frijol mungo, incluyendo relaciones hídricas y productividad de biomasa, lo que se traduce en mayor rendimiento e índice de cosecha. De manera similar, Caldas (2022) reportó efectos positivos en frijol canario, donde la aplicación de GA_3 incrementó el número de vainas por planta, el peso de 100 semillas y el rendimiento total, con dosis óptimas entre 100 y 200 mg L^{-1}. Asimismo, Maqueira-López *et al*. (2024) señalaron que el uso de reguladores de crecimiento vegetal puede modular la arquitectura de la planta y favorecer la asignación de biomasa hacia órganos reproductivos, incrementando así la eficiencia fisiológica y la productividad del cultivo. La literatura también resalta la importancia de aplicar GA_3 en etapas fenológicas clave, como la prefloración y el llenado de vaina, para maximizar su efecto sobre el rendimiento. En este sentido, Puspita *et al*. (2024) demostraron que la aplicación conjunta de GA_3 y citoquininas en frijol francés mejoró significativamente el crecimiento vegetativo, el número de vainas y el rendimiento de grano, recomendando ajustar la dosis según el estadio de desarrollo y la respuesta del genotipo.

Cuadro 3. Valores medios de variables de rendimiento en variedades de frijol bajo la interacción de tratamientos foliares con ácido giberélico (GA_3) y urea+ácido fosfórico en condiciones de estrés hídrico.

Variedades	Tratamientos	Rendimiento (kg ha^{-1})		P-100 Semillas (g)		Biomasa total (kg ha^{-1})		Índice de cosecha	
Flor de Mayo Eugenia	GA_3	1350.26	a	30.30	cde	4082.51	a	0.33	d
Flor de Junio León	GA_3	1338.50	ab	28.47	def	3654.12	ab	0.37	d
NSL 22	FF	1223.08	abc	29.23	cdef	22.44.95	cdef	0.57	ab
Pinto Salinas	FF	1115.72	abcd	28.70	def	2790.72	bc	0.40	d
NSL 22	GA_3	1052.07	abcd	29.63	cdef	1705.20	cdef	0.62	ab
Pinto Salinas	GA_3	998.88	abcd	25.79	f	2530.13	bcde	0.40	d
Negro Verdín	GA_3	994.55	abcd	20.25	g	1769.55	cdef	0.56	ab
Pinto Rarámuri	FF	944.46	abcd	35.80	a	2231.96	cdef	0.41	d
Flor de Mayo Dolores	FF	941.97	abcd	27.87	ef	2598.22	bcde	0.36	d
Flor de Junio León	FF	932.33	abcd	28.23	def	2710.45	bc	0.34	d
Tepehuán RS	FF	908.78	abcd	25.98	f	1415.03	ef	0.64	a
NOD-1	GA_3	903.56	abcd	18.de87	g	1631.69	cdef	0.55	ab
NOD-1	FF	899.86	abcd	18.33	g	1637.13	cdef	0.55	ab
Negro Verdín	FF	882.86	abcd	21.21	g	1739.11	cdef	0.53	bc
Flor de Mayo Eugenia	FF	879.69	abcd	29.06	cdef	2545.32	bcde	0.35	d
Pinto San Rafael	GA_3	866.77	abcd	32.13	bcd	1432.40	def	0.61	ab
Flor de Mayo Dolores	GA_3	866.05	abcd	27.93	ef	2509.80	bcde	0.34	d
Pinto Saltillo	GA_3	852.02	abcd	25.72	f	2002.02	cdef	0.43	cd
Pinto Centauro	GA_3	809.03	abcd	31.57	cde	2112.16	cdef	0.38	d
Pinto Saltillo	FF	780.38	cd	25.78	f	1930.38	cdef	0.40	d
Pinto Centauro	FF	766.84	cd	31.46	cde	1941.84	cdef	0.39	d
Tepehuán RS	GA_3	718.46	cd	25.63	f	1193.46	f	0.61	ab
Pinto San Rafael	FF	698.42	cd	30.97	cde	1160.92	f	0.60	ab
Pinto Rarámuri	GA_3	673.02	d	32.81	ab	1741.77	cdef	0.38	d

AG_3: Ácido giberélico, FF: fertilización foliar (urea + ácido fosfórico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p α0.05).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de ácido giberélico y de urea con ácido fosfórico bajo condiciones de sequía mostró que ambos tratamientos pueden contribuir de manera equivalente al desempeño agronómico del frijol, aunque la respuesta depende en gran medida del genotipo. Se evidenció que las variedades presentan diferencias notables en su capacidad de mantener rendimiento, peso de semilla y eficiencia fisiológica, lo que confirma la importancia de considerar la interacción entre tratamientos y genotipos en ambientes de temporal. El uso de bioestimulantes como el ácido giberélico representa una estrategia complementaria viable para mitigar los efectos del déficit hídrico, favoreciendo procesos fisiológicos clave y ofreciendo alternativas sustentables para mejorar la productividad en regiones semiáridas. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de ajustar las prácticas de manejo según la variedad y las condiciones ambientales, con el fin de optimizar la resiliencia y sostenibilidad del cultivo de frijol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beebe, S.E.; Rao, I.M.; Blair, M.W.; Acosta-Gallegos, J.A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Front. Physiol.*, *4*, 35. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035

Caldas, A. J. (2022). Efecto del ácido giberélico en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. canario en Irrigación San Felipe, Huaura. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. http://hdl.handle.net/20.500.14067/6022

Domínguez, S.A.; Darias, R.R.; Yordanys, M.D.Y.; Negrin, E.A. (2019). Tolerance of common bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) to field drought conditions. *Cent. Agrícola*, 46, 22–29.

Gayosso Barragán, O.; Acosta Gallegos, J. A.; Alcalá Rico, J. S. G. J.; Jiménez Hernández, Y.; Chávez Aguilar, G.; Chávez Díaz, I. F. & Aranda Lara, U. (2025). Genotype × environment interaction and yield stability of "Pinto" Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in a Semi-arid Region of Mexico. *Agriculture*, 15(20), 2150. https://doi.org/10.3390/agriculture15202150

Islam, M.S.; Hasan, M.K.; Islam, M.R.; Chowdhury, M.K.; Pramanik, M.H.; Iqbal, M.A.; Rajendran, K.; Iqbal, R.; Soufan, W.; Kamran, M.; Liyun, L.; El Sabagh, A. (2023) Water relations and yield characteristics of mungbean as influenced by foliar application of gibberellic acid (GA_3). *Front. Ecol. Evol.* 11:1048768. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1048768

Maqueira López, L. A.; Roján Herrera, O.; Izquierdo Collazo, A. I.; García Roque, O.; Páez López, A. (2024). Productividad de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Parte II. Variabilidad del rendimiento en función del crecimiento. *Cultivos Tropicales*, 45(1), https://cu-id.com/2050/v45n1e10

Puspita, D.; Vijay, B.; Samir, E. (2024). Effect of gibberellic acid and cytokinin on growth, quality and yield of french bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Cv. Ellora No. 11. *Journal of Experimental Agriculture International* 46 (5):538–545. https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i52408.

SIAP. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la Producción Anual Agrícola. (2022). Available online: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (consultado 10 marzo 2026).

Tripathi, J. M.; Khan, B. R.; Gaur, R.; Yadav, D.; Verma, K. K.; Gupta, R. (2025). Gibberellic acid improves photosynthetic electron transport and stomatal function in crops that are adversely affected by salinity exposure. *Plants*, 14(21), 3388. https://doi.org/10.3390/plants14213388

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

BIOESTIMULANTES EN LA PRODUCCIÓN DE CALABACITA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Luis F. Herrera Mendoza[1]; Ian P. Suarez Joya[1]; Edgar A. Meléndez Pescador[1]; José M. Martínez Caracheo[1]; María L. Rivera Serrano[2]; Luis P. Guevara Acevedo[2¶]

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. [2]Docente en Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. ¶Autor de correspondencia: luis.ga@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La variedad Zucchini Gray de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) constituye un cultivo de importancia dentro del sector hortícola debido a su alta demanda y valor productivo. En este contexto, el uso de bioestimulantes se ha propuesto como una alternativa para mejorar la productividad de los cultivos. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de bioestimulantes en la producción de calabacita bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron ácido salicílico (AS) a una dosis de 6.7 mM, extracto de algas marinas (AM) a 5 mL L^{-1} y un testigo comercial Bayfolan® Forte a 3 mL L^{-1}. El experimento se estableció bajo un diseño en bloques al azar con cinco bloques. Los tratamientos se aplicaron a los 19 días después de la siembra, hasta la cosecha. Además, se registraron variables relacionadas con la producción, tales como número de botones florales y frutos por planta, así como largo, ancho y peso de los frutos durante la cosecha. Una vez analizados los datos, se observó que el tratamiento con AM presento resultados con mayor significancia, seguido del AS, mientras que el testigo comercial mostro los valores más bajos.

Palabras clave: *bioestimulantes, producción, calabacita, calidad, frutos.*

ABSTRACT

The Zucchini Gray variety of squash (*Cucurbita pepo* L.) is an important crop in the horticultural sector due to its high demand and productive value. In this context, the use of biostimulants has been proposed as an alternative to improve crop productivity. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of biostimulants on zucchini production under greenhouse conditions. Salicylic acid (SA) at a dose of 6.7 mM, seaweed extract (SE) at 5 mL L^{-1}, and a commercial control, Bayfolan® Forte, at 3 mL L^{-1} were evaluated. The experiment was established using a randomized complete block design with five blocks. Treatments were applied 19 days after planting until harvest. Variables related to production were also recorded, such as the number of flower buds and fruits per plant, as well as the length, width, and weight of the fruits at harvest. Once the data was analyzed, it was observed that the AM treatment showed the most significant results, followed by AS, while the control showed the lowest values.

Keywords: *biostimulants, production, zucchini, quality, fruits*

INTRODUCCIÓN

La calabacita (*Cucurbita pepo L.*) es una hortaliza de amplia distribución debido a su capacidad de adaptación y a su elevada demanda en el mercado. Por lo que, representa una opción productiva en el sector hortícola, ya que permite obtener rendimientos en periodos cortos de producción (Alvarado *et al.*, 2021). Además, sus frutos aportan nutrimentos esenciales como minerales, vitaminas y compuestos antioxidantes, lo que incrementa su importancia en la alimentación humana (Apáez *et al.*, 2019). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021) la producción de calabacita en México, posee una importancia económica significativa, ya que participa activamente en los mercados nacionales e internacionales y constituye una fuente de ingresos para los productores hortícolas. Asimismo, el cultivo bajo condiciones de invernadero permite optimizar el uso de recursos mediante el control de factores ambientales que favorecen el desarrollo vegetal (Rouphael & Colla, 2020). Sin embargo, los sistemas de producción intensiva dependen en gran medida de la aplicación de fertilizantes minerales y su uso excesivo de estos insumos puede incrementar los costos de producción, además de ocasionar efectos negativos sobre el ambiente y la fertilidad del suelo (Díaz *et al.,* 2016). Por ello, recientemente se han buscado estrategias que permitan mejorar la productividad agrícola de manera más eficiente y sustentable (Bulgari *et al.,* 2019). Dentro de estas estrategias destacan los bioestimulantes, sustancias capaces de estimular procesos fisiológicos en las plantas, mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de nutrimentos y favorecer el crecimiento vegetal (Rouphael & Colla, 2020). Estos compuestos incrementan el rendimiento de los cultivos y aumentan la tolerancia al estrés ambiental sin reemplazar la fertilización convencional (Yakhin *et al.,* 2017). Entre los más utilizados se encuentran los extractos de algas marinas (AM), los cuales contienen compuestos bioactivos como aminoácidos, vitaminas y reguladores de crecimiento que estimulan el desarrollo de las plantas (Bulgari *et al.,* 2019). Asimismo, el ácido salicílico actúa como un regulador fisiológico que participa en la activación de mecanismos de defensa y en la regulación de diversos procesos metabólicos en las plantas (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2016). La aplicación exógena de este compuesto puede mejorar la actividad fotosintética y favorecer el crecimiento en cultivos hortícolas (Nazar *et al.,* 2017). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de bioestimulantes en la producción de calabacita bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en condiciones controladas dentro de un invernadero con una superficie total de 90 m², del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Roque. Se estableció un diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA), integrado por cinco bloques, dos tratamientos y un testigo comercial.

Los tratamientos evaluados fueron AS), extracto de algas marinas (AM) y un testigo comercial (Bayfolan® Forte). Se utilizó la variedad de calabacita Zucchini Gray® (Hortiflor), sembrada a una distancia de 40 cm entre plantas y a una profundidad de 3 cm, en suelo previamente preparado y cubierto con acolchado agrícola. Se instaló un sistema de riego por goteo con dos cintas por cama, suministrando aproximadamente 1 m³ de agua por semana durante todo el ciclo del cultivo. A los siete días posteriores a la siembra se efectuó una resiembra en los sitios donde no se presentó emergencia. Asimismo, se realizaron dos aplicaciones de enraizador (Raizgrán® Plus) mediante fertirriego, con una dosis de 500 g. Para el manejo fitosanitario de araña roja (*Tetranychus urticae Koch*) se controló con el insecticida Monitor®600 con 1 mL L^{-1} y para el control de cenicilla se aplicó extracto de yuca (Id-Gar® Steph) en 4 mL L^{-1}, respectivamente aplicados de manera foliar. Asimismo, durante el desarrollo del cultivo se presentó deficiencia de calcio, por lo que se aplicó quelato de calcio (Quelafarm® Calcio) con 3 mL L^{-1} vía foliar. A los 19 días después de la siembra se aplicaron los tratamientos consistentes en 6.7 mM de ácido salicílico, 5 mL L^{-1} de algas marinas NG-PLUS® (De Asistencia Biotecnológica) y un testigo comercial con 3 mL L^{-1} de Bayfolan® Forte (Bayer Crop Science). Las aplicaciones se realizaron con un aspersor manual Truper® con capacidad de 2 L, efectuándose de forma semanal a partir de la emergencia de las plántulas. Durante el desarrollo del cultivo se evaluaron variables relacionadas con la producción, registrando el número de botones florales y el número de frutos por planta mediante conteo directo en cada unidad experimental. Asimismo, durante la cosecha se midieron características físicas de los frutos, determinando la longitud con un flexómetro Truper®, el diámetro (ancho) con un vernier Atverce® y el peso mediante una balanza digital Truper®. Estas evaluaciones se realizaron en frutos cosechados de cada unidad experimental. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa SAS® 9.4 para Windows (SAS, 2012), considerando el diseño experimental (DBCA), integrado por cinco bloques y tres tratamientos, con sus respectivas repeticiones por unidad experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos indicaron que la aplicación de los tratamientos influyó significativamente en las variables de producción evaluadas en el cultivo de calabacita. En cuanto al número de botones ($Pr > F, < 0.0001$) y número de frutos ($Pr > F, < 0.0001$), se observaron efectos altamente significativos, lo cual coincide con lo reportado por Peña (2020), quien reporta incrementos importantes en el número de frutos en maracuyá mediante el uso de bioestimulantes. De igual manera, Hernández (2024) señala que la aplicación de estos compuestos favorece la emisión de botones florales y mejora variables de crecimiento y calidad del fruto en cultivos hortícolas como la fresa. Estos resultados también concuerdan con lo reportado por Díaz *et al.* (2016) y Guardiola-Márquez *et al.* (2019), quienes documentaron efectos altamente significativos en la producción y desarrollo de cucurbitáceas bajo la aplicación de bioestimulantes.

En el Cuadro 1 se observa que los tratamientos presentaron efectos altamente significativos en número de botones y frutos, así como efectos significativos en las variables de largo, ancho y peso del fruto, lo que indica que los tratamientos evaluados influyeron tanto en el rendimiento como en la calidad del fruto. Este comportamiento es similar con lo reportado por Ayala-Tafoya *et al.* (2020), quienes encontraron que la aplicación de compuestos bioestimulantes incrementa significativamente las variables productivas en cultivos hortícolas, particularmente en especies del género *Cucurbita*. Asimismo, Guerrero *et al.* (2018) reportaron que la fertilización foliar puede modificar de manera significativa el desarrollo del fruto dependiendo del tipo de insumo aplicado.

Cuadro 1. Cuadrado Medio de las variables de producción de calabacita por efecto de la aplicación foliar de bioestimulantes.

FV	gl	Cuadrado Medio				
		Número de botones	Número de frutos	Largo (cm)	Ancho (mm)	Peso (g)
Trat (T)	2	87.12**	70.76**	154.17*	5600.95*	104541.49*
Muest (M)	10	65.25**	73.85**	68.57*	876.68^{ns}	40057.03^{ns}
Bloq	1	0.97^{ns}	0.17^{ns}	32.09^{ns}	1217.48^{ns}	28062.36^{ns}
T x M	20	12.75**	4.40*	9.06^{ns}	226.94^{ns}	5626.41^{ns}
EE	131	3.58	1.52	33.79	879.54	21741.23
Total	164	-	-	-	-	-

FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; Trat = Tratamiento; Muest = Muestreo; Bloq = Bloque; T x M = Tratamiento por Muestreo; EE = Error Experimental; ** =Diferencias altamente significativas (Pr ≤ 0.0001); * = Diferencias estadísticas significativas (Pr ≤ 0.005); ns = Diferencias no significativas (P≥0.005).

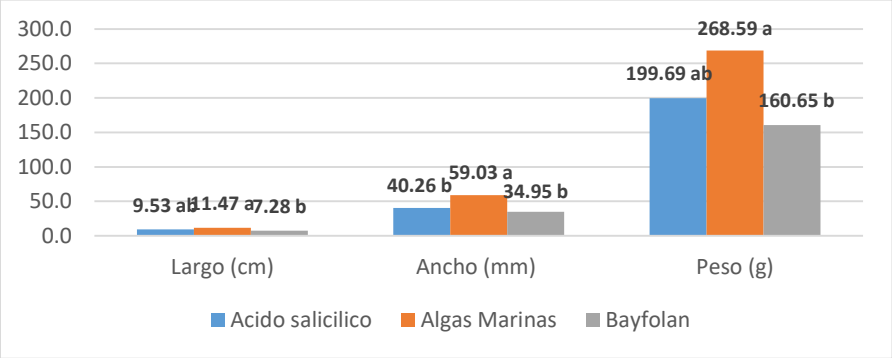


Figura 1. Evaluación de los tratamientos de bioestimulantes en el cultivo de calabacita bajo condiciones de invernadero.

Por su parte, los muestreos mostraron efectos altamente significativos en número de botones y frutos, y significativos en el largo del fruto, lo cual sugiere una variación en la producción a lo largo del ciclo del cultivo. Este comportamiento coincide con lo señalado por Guardiola-Márquez *et al.* (2019), quienes indican que en cultivos hortícolas de producción continua existe una dinámica en la emisión de estructuras reproductivas asociada a cambios fisiológicos durante el desarrollo. En cuanto a la interacción tratamiento por muestreo (T ×

M), se observaron efectos significativos en número de botones y frutos, lo que evidencia que la respuesta de los tratamientos depende del momento de evaluación.

Similar a lo reportado por Agüero (2019), quien señala que la eficiencia de los bioestimulantes se relaciona estrechamente con las etapas fenológicas del cultivo, particularmente en floración y fructificación. En la Figura 1 se analiza que para la variable largo del fruto, la aplicación foliar de AM a dosis de 5 mL L^{-1} presentó el valor más alto con 11.47 cm, seguido del AS con 9.53 cm, superando en conjunto en más del 23% al testigo comercial. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Hernández (2024), quien señala que los bioestimulantes favorecen la elongación celular y el crecimiento del fruto. En cuanto al ancho del fruto, las AM mostraron el mayor incremento con 59.03 mm, superando al AS en aproximadamente 31% y al testigo comercial hasta en un 40%, lo cual es consistente con lo reportado por Ayala-Tafoya *et al.* (2020), quienes observaron incrementos significativos en el diámetro de frutos con el uso de bioestimulantes. Por otro lado, en la variable peso del fruto, el tratamiento con AM alcanzó un promedio de 268.59 g, superando al AS en cerca de un 25%, y al testigo comercial en más de un 40%. Estos resultados coinciden con lo reportado por Díaz *et al.* (2016) y Peña (2020), quienes documentaron incrementos en el rendimiento mediante la aplicación de bioestimulantes en cultivos frutales y hortícolas.

CONCLUSIONES

Para la producción de calabacita bajo condiciones de invernadero se recomienda la aplicación de AM a dosis de 5 mL L^{-1}, ya que incrementa significativamente la calidad del fruto, alcanzando aumentos superiores al 23% en largo, 31% en ancho y más del 40% en peso en comparación con el testigo comercial. Asimismo, el uso de bioestimulantes mostró un efecto positivo en el rendimiento del cultivo, destacando su eficiencia sobre la fertilización foliar tradicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agüero, J. A. (2019). Efecto de bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas. Universidad Autónoma de Sinaloa.

Alvarado, J., Valdez, L., Cepeda, M., Rubí, M., & Pineda, J. (2021). Producción y rentabilidad del cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(3), 543–552. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2685

Apáez, B., Lara, R., Apáez, M., & Raya, J. (2019). Importancia nutricional y económica de la calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en sistemas hortícolas. Revista Fitotecnia Mexicana, 42(2), 145–152.

Apáez, B., Lara, R., Apáez, M., & Raya, J. (2019). Producción y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) con aplicación de zeolita y fertilizante químico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 23, 211–221.

Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López, D. M., Valdez-Aguilar, L. A., & Partida-Ruvalcaba, L. (2020). Bioestimulantes y su efecto en el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(3), 567–579.

Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. Agronomy, 9(6), 306. https://doi.org/10.3390/agronomy9060306

Castellanos-Morales, G., Paredes-Torres, L. M., Gutiérrez-Rodríguez, C., & Sánchez-de la Vega, G. (2018). Genetic diversity and domestication of *Cucurbita pepo* in Mexico. Frontiers in Ecology and Evolution, 6, 1–12.

Díaz, A. M., Hernández, R., & Sánchez, E. (2016). Uso de biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de cucurbitáceas. Revista Chapingo Serie Horticultura, 22(2), 145–156.

Díaz, A., Alvarado, M., Allende, M., & Ortiz, J. (2016). Fertilización y manejo nutrimental en cultivos hortícolas bajo agricultura protegida. Revista Chapingo Serie Horticultura, 22(3), 183–195. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.03.010

Guardiola-Márquez, A., López-Martínez, V., & Pérez-Grajales, M. (2019). Efecto de biofertilizantes en el desarrollo de cultivos hortícolas bajo condiciones protegidas. Revista Fitotecnia Mexicana, 42(1), 23–31.

Guerrero, R. M., Ramírez, H., & Torres, A. (2018). Evaluación de fertilización foliar en cultivos hortícolas en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9(5), 1023–1034.

Hernández, J. L. (2024). Uso de bioestimulantes en la producción de fresa *(Fragaria × ananassa)* bajo condiciones protegidas. Universidad Autónoma Chapingo.

Kates, H. R., Soltis, P. S., & Soltis, D. E. (2017). Evolutionary and domestication history of *Cucurbita pepo*. Plant Systematics and Evolution, 303, 933–943.

Nazar, R., Umar, S., Khan, N. A., & Sareer, O. (2017). Salicylic acid signaling in plants. Environmental and Experimental Botany, 161, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.02.007

Paris, H. S. (2016). Origin and emergence of the cultivated cucurbits. Horticultural Reviews, 44, 1–63.

Peña, M. A. (2020). Evaluación de bioestimulantes en el rendimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*). Universidad Autónoma de Nayarit.

Rivas-San Vicente, M., & Plasencia, J. (2016). Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany, 62(10), 3321–3338. https://doi.org/10.1093/jxb/erq447

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. Agronomy, 10(10), 1461. https://doi.org/10.3390/agronomy10101461

Rouphael, Y., Colla, G., Giordano, M., El-Nakhel, C., Kyriacou, M., & De Pascale, S. (2017). Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate as a biostimulant for greenhouse crops. Frontiers in Plant Science, 8, 435. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00435

Sánchez, E., Fortis, M., Preciado-Rangel, P., & García-Hernández, J. L. (2017). Bioestimulantes en la agricultura: una revisión de su uso en México. Terra Latinoamericana, 35(3), 271–283.

SIAP. (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/siap

Valdez-Aguilar, L. A., & Reed, D. W. (2017). Respuesta de cultivos hortícolas a bioestimulantes bajo condiciones de estrés. Revista Chapingo Serie Horticultura, 23(1), 45–56.

Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. Frontiers in Plant Science, 7, 2049. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049

Zatarain-López, D. M., Ayala-Tafoya, F., & Partida-Ruvalcaba, L. (2018). Uso de extractos de algas marinas en la producción de cultivos hortícolas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9(7), 1501–1512.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

BIOFERTILIZANTES EN LA PRODUCCIÓN DE CALABACITA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Edgar A. Meléndez Pescador [1]; José M. Martínez Caracheo [1]; Luis F. Herrera Mendoza [1]; Ian P. Suarez Joya [1]; Lourdes Rivera Serrano [2¶]; Luis P. Guevara Acevedo [2].

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. [2]Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. ¶Autor de correspondencia: luis.ga@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La producción de calabacita (*Cucurbita pepo L.*) bajo condiciones de invernadero requiere estrategias de manejo nutricional que permitan incrementar el rendimiento y mejorar la calidad del fruto. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de biofertilizantes y extractos de algas marinas sobre variables productivas y de calidad en calabacita. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco bloques y tres tratamientos: biofertilizante líquido, extracto de algas marinas y un testigo comercial. Se evaluó el número de botones florales, número de frutos, longitud, diámetro y peso del fruto. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos, destacando el extracto de algas marinas con los mayores valores en número de frutos (5.19), longitud (12.14 cm) y peso del fruto (244.04 g). Los biofertilizantes también presentaron resultados favorables en comparación con el testigo comercial. Por lo que la aplicación foliar de biofertilizantes y extractos de algas marinas representa una alternativa sustentable para incrementar el rendimiento y mejorar la calidad comercial de la calabacita bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: *Invernadero, biofertilizantes, algas marinas, rendimiento, calidad de fruto*

ABSTRACT

The production of zucchini (*Cucurbita pepo L.*) under greenhouse conditions requires nutritional management strategies to increase yield and improve fruit quality. The objective of this research was to evaluate the effect of foliar application of biofertilizers and seaweed extracts on zucchini production and quality variables. The experiment was established using a randomized complete block design with five replicates and three treatments: liquid biofertilizer, seaweed extract, and a commercial control. The number of flower buds, number of fruits, fruit length, diameter, and weight were evaluated. The results showed significant differences between treatments, with the seaweed extract exhibiting the highest values for number of fruits (5.19), length (12.14 cm), and fruit weight (244.04 g). The biofertilizers also showed favorable results compared to the commercial control. It is concluded that the foliar application of biofertilizers and seaweed extracts represents a sustainable alternative to increase the yield and improve the commercial quality of zucchini under greenhouse conditions.

Keywords: Greenhouse, biofertilizers, seaweed, yield, fruit quality

INTRODUCCIÓN

La calabacita (*Cucurbita pepo* L.) es una hortaliza de gran importancia económica en México debido a su alta demanda en el mercado nacional e internacional. En el año 2017, este cultivo ocupó el octavo lugar entre las hortalizas producidas en el país, con un rendimiento promedio de 14.457 t ha^{-1} en una superficie cosechada de 8 212 ha (SIAP, 2017). Estos datos reflejan su relevancia productiva y su contribución al sector hortícola nacional. Además, la producción de calabacita bajo condiciones de invernadero representa una alternativa económicamente viable y con amplio potencial de desarrollo, ya que permite un mayor control de los factores ambientales y una mejora en la eficiencia productiva (Méndez-López *et al.,* 2016). En los sistemas de producción intensivos, el manejo nutricional es uno de los factores que más influye en el rendimiento y calidad comercial del fruto. Tradicionalmente, la fertilización inorgánica ha sido la principal estrategia para satisfacer los requerimientos del cultivo; sin embargo, su uso excesivo incrementa los costos de producción y puede generar efectos negativos en el suelo y el ambiente. En este contexto, los abonos orgánicos de origen vegetal o animal, como el compost, el vermicompost y los biofertilizantes, representan alternativas de fertilización que pueden disminuir la dependencia de insumos químicos y reducir los costos productivos sin comprometer el rendimiento (Muñoz-Villalobos *et al*., 2018). Entre los nutrientes esenciales para la producción de calabacita, el potasio desempeña un papel fundamental durante la etapa de floración y llenado de fruto, al participar en la activación enzimática, regulación osmótica y transporte de fotoasimilados, procesos directamente relacionados con el peso y número de frutos (Basak *et al.,* 2019). No obstante, una fracción considerable del potasio presente en el suelo se encuentra en formas no disponibles para la planta, lo que limita su aprovechamiento. Los microorganismos solubilizadores de potasio constituyen una alternativa biológica capaz de transformar formas insolubles de este elemento en compuestos disponibles mediante la producción de ácidos orgánicos y otros metabolitos (Sheng *et al*., 2016). Asimismo, los extractos de algas marinas contienen fitohormonas naturales, aminoácidos y compuestos bioactivos que estimulan procesos fisiológicos relacionados con la floración, el amarre y el desarrollo del fruto (Hernández *et al.,* 2016). El uso combinado de biofertilizantes y extractos de algas marinas bajo condiciones de invernadero podría representar una estrategia sustentable para incrementar la producción y mejorar la calidad comercial de la calabacita. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes en el rendimiento y la calidad comercial del fruto de calabacita producida bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en un invernadero del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Roque, con una superficie aproximada de 90 m^2. Para el establecimiento del cultivo se habilitaron cinco

camas de siembra de 1.20 m de ancho por 15 m de longitud, donde se estableció calabacita variedad Zucchini Gray® (Hortiaflor) en arreglo de una sola hilera, con una separación de 0.35 m entre plantas. El biofertilizante empleado se preparó en un contenedor con capacidad de 200 L bajo agitación continua. A la mezcla se incorporaron 50 kg de fosfato diamónico (18-46-00) y un consorcio bacteriano con una concentración de (10-6) UFC integrado por microorganismos de los géneros *Bacillus, Rhizobium* y *Azospirillum*. La solución se mantuvo en fermentación durante 21 días, conservando un rango de pH entre 6.5 y 7.0. Al finalizar el proceso, el extracto líquido obtenido se recuperó para su aplicación en el cultivo. Durante el desarrollo del experimento se detectó infestación de araña roja (*Tetranychus urticae* Koch), por lo que se realizó una aplicación del insecticida Monitor® 600 (metamidofos) a una dosis de 1 mL L^{-1} de agua. De manera complementaria, se efectuaron dos aplicaciones del bioestimulante Raizgran Plus®(Bioenzymas) mediante el sistema de riego, con un intervalo de siete días entre aplicaciones y una dosis de 12.5 g L^{-1} de agua. Posterior mente a los 19 días de siembre se establecieron los tratamientos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar conformado por cinco bloques; cada bloque incluyó dos tratamientos y un testigo comercial distribuidos aleatoriamente. Los tratamientos aplicados fueron, 5 mL L^{-1} de algas marinas NG-PLUS® (De Asistencia Biotecnológica) y 3 mL L^{-1} de biofertilizante líquido y un testigo comercial con aplicación de Bayfolan® Forte (Bayer Crop Science) a 3 mL L^{-1} de agua. Las aplicaciones se realizaron vía foliar utilizando aspersores manuales con capacidad de 2 L, asignando un aspersor exclusivo para cada producto con el propósito de evitar contaminación cruzada. Las evaluaciones se enfocaron en variables asociadas al desempeño reproductivo del cultivo. A los 26 días se empezó a realizar la toma de datos manera manual, el número de botones florales y el número de frutos por planta en cada fecha de muestreo. En los frutos cosechados se determinaron sus características físicas mediante la medición de longitud, diámetro y peso, para determinar el diámetro se utilizó un vernier digital Atverce ®. La longitud se midió con una cinta métrica de 3 m marca Truper ® para asegurar precisión en frutos de mayor tamaño. El peso individual de los frutos se obtuvo utilizando una báscula digital marca Truper ® de precisión comercial. Las mediciones se realizaron dos veces por semana durante el periodo productivo. Los datos obtenidos se sometieron a análisis estadístico con un diseño experimental de bloques al azar con 5 bloque. 2 tratamientos y un testigo, mediante el paquete SAS versión 9.4 para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos en las variables relacionadas con el rendimiento como numero de botones (F 25.89, $Pr<0.0001$) y numero de frutos (F 14.18, $Pr<0.0001$), lo que indica que la aplicación de biofertilizantes y extractos de algas marinas influyó positivamente en el desempeño productivo del cultivo bajo condiciones de invernadero.

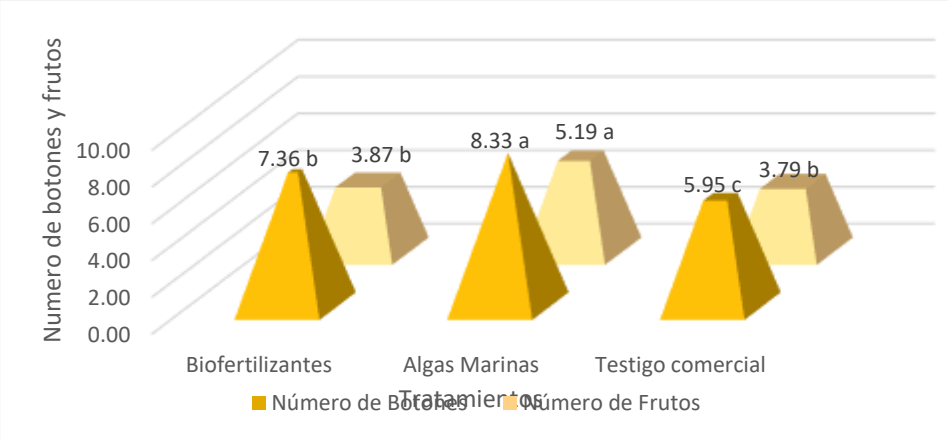


Figura 2. Número de botones florales y número de frutos por planta de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en función de la aplicación de biofertilizantes, extractos de algas marinas y un testigo comercial bajo condiciones de invernadero.

En la Figura 1 se muestra que el tratamiento con extracto de algas marinas presentó el mayor número de 8.33 botones florales, seguido del biofertilizante 7.36, mientras que el testigo comercial presentó el valor más bajo 5.95. De igual forma, el número de frutos fue mayor en el tratamiento con algas marinas con 5.19 frutos, seguido del biofertilizante teniendo 3.87 frutos, superando al testigo que presento 3.79 frutos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Alaniz-Villanueva *et al.* (2026), quienes observaron incrementos significativos en el número de frutos por planta (hasta 6.66 frutos) con la aplicación de biofertilizantes, lo que confirma el efecto positivo de los biofertilizantes sobre el rendimiento del cultivo. Asimismo, Hernández *et al.* (2014) señalan que los extractos de algas marinas contienen fitohormonas como auxinas y giberelinas que estimulan la floración y el amarre de frutos, lo cual explica el comportamiento observado en este estudio. El aumento en el número de frutos también puede atribuirse a la acción de los compuestos bioactivos y microorganismos presentes en los biofertilizantes aplicados de forma foliar, los cuales pueden ser absorbidos directamente a través del tejido vegetal, favoreciendo procesos fisiológicos clave. En este sentido, la aplicación foliar permite una respuesta más rápida en la planta al mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y estimular rutas metabólicas relacionadas con la floración y el desarrollo del fruto. De acuerdo con Basak *et al.* (2009), estos microorganismos contribuyen a la disponibilidad de nutrientes esenciales como el potasio, el cual desempeña un papel fundamental en el desarrollo reproductivo y el llenado del fruto.

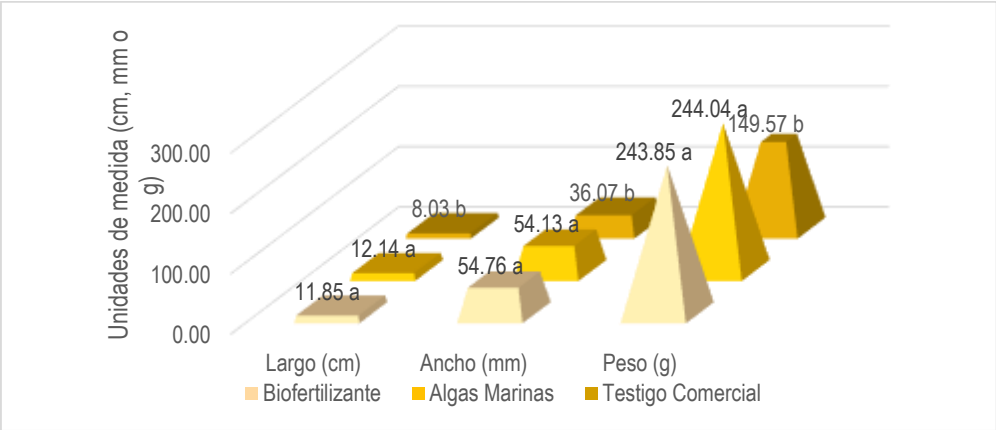


Figura 3. Variables de calidad del fruto (longitud, diámetro y peso) de calabacita bajo diferentes tratamientos de fertilización en condiciones de invernadero.

En las variables sobre la calidad del fruto se observaron diferencias significativas como longitud (F 7.47, Pr<0.0010), diámetro (F 6.77, Pr<0.0019) y peso (F 5.43, Pr<0.0061) de cada uno de los tratamientos, Siendo el tratamiento con extracto de algas marinas mostró los mayores valores en longitud con 12.14 cm y peso de 244.04 g (Fig. 2), seguido del biofertilizante con valores similares (11.85 cm y 243.85 g). El testigo comercial registró los valores más bajos en todas las variables evaluadas. Estos resultados son similares con lo reportado por Alaniz-Villanueva *et al.* (2026), quienes encontraron incrementos en la longitud de frutos de hasta 17.01 cm y peso de 220g promedio por fruto mediante la aplicación de biofertilizantes. Además, estudios como los de Cruz-Cárdenas *et al.* (2021) y Rosabal-Ayan *et al.* (2021) destacan que los biofertilizantes no solo incrementan el rendimiento, sino que también mejoran la eficiencia en la absorción de nutrientes y la actividad fisiológica de las plantas. Esto se traduce en frutos de mayor tamaño, peso y calidad comercial, especialmente los extractos de algas marinas, representan una alternativa eficiente para incrementar el rendimiento y mejorar la calidad del fruto de calabacita.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de biofertilizantes y extractos de algas marinas mostró efectos positivos sobre el rendimiento y la calidad del fruto de calabacita bajo condiciones de invernadero. Por lo cual se recomienda su aplicación de manera foliar en el cultivo de calabacita bajo condiciones de invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alaniz-Villanueva, O., Silva-Marrufo, O., Galindo-Villanueva, H., & Betancourt-Chaidez, B. (2026). Evaluación de la producción y rentabilidad de la calabaza mayera con el uso de biofertilizantes y un fertilizante químico comercial. Abanico Boletín Técnico, 5, 1–8.

Basak, B. B., & Biswas, D. R. (2019). Influence of potassium solubilizing microorganisms (KSM) on the release of potassium from waste mica. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172(5), 655–665. https://doi.org/10.1002/jpln.200800081

Cruz-Cárdenas, C. I., et al. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(5), 899–913.

Hernández, H. R. M., Santacruz, R. F., Ruiz, L. M. A., Norrie, J., & Hernández, C. G. (2016). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Applied Phycology, 26(1), 619–628. https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4

Méndez-López A, Villanueva-Verduzco C, Sahagún-Castellanos J, Avitia-García E, Colinas-León MT, JamilenaQuesada M, et al. (2016) Obtención, caracterización y agrupamiento de genotipos partenocárpicos de calabaza (Cucurbita pepo L.) tipo “Round Zucchini”. Revista Chapingo Serie Horticultura

Muñoz-Villalobos JA, Velásquez-Valle MA, Osuna-Ceja ES, Macías-Rodríguez H (2018) El uso de abonos orgánicos en la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas

Rosabal-Ayan, L., et al. (2021). Microorganismos del suelo y su uso en agricultura. Magna Scientia UCEVA.

Sheng, X. F., & He, L. Y. (2016). Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Canadian Journal of Microbiology, 52(1), 66–72. https://doi.org/10.1139/w05-117

SIAP (2017) Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Situación al 31 de OCTUBRE de2014.http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2015.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2017). Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

BIOFORTIFICACIÓN RIZOBIANA DEL CHIPILÍN MEDIANTE CEPAS NATIVAS BAJO DIFERENTES FUENTES DE CARBONO PARA MEJORAR SU CALIDAD NUTRICIONAL

Luis Alberto Manzano-Gómez[1,2], Reiner Rincón-Rosales[1]; Diana Rubí Oropeza-Tosca[3]; Francisco Alexander Rincón-Molina[1]; Valeria Mumenthey Zorrilla[1]; Stephanie Solís Zebadúa[1]; Erick Fabián Sarmiento Megchum[1]; Julio César Maldonado Gómez[1]; Clara Ivette Rincón-Molina[1]

[1]Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; [23]R Biotec SA de CV, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; [3]Instituto Tecnológico de Villahermosa, Villahermosa, Tabasco, México. Autor de correspondencia: d14270281@tuxtla.tecnm.mx

RESUMEN

Las plantas aromáticas son fundamentales en la cultura culinaria latinoamericana, y Crotalaria longirostrata (chipilín) es especialmente valorada por su contenido nutricional y su uso tradicional. El chipilín se conoce en náhuatl como “alimento con el que los enfermos recuperarán fuerzas”, y en tzotzil, otra lengua indígena mexicana, como “Tsi-ipilli”, que significa “Hierba de la fuerza”. Estos nombres resaltan su contenido en nutrientes esenciales y sus propiedades antioxidantes (Hernández-Reyes et al., 2024). Este arbusto leguminoso constituye una fuente importante de hierro, calcio, vitamina A y compuestos fenólicos (Peña-Valdivia et al., 2022). Este estudio evaluó los efectos de cepas rizobianas nativas sobre el crecimiento del chipilín y el contenido nutrimental de sus hojas. Se probaron seis tratamientos: T1, Sinorhizobium mexicanum ITTG-R7T en medio extracto de levadura-manitol más Ca^{2+}; T2, ITTG-R7T con extracto de levadura más Ca^{2+}; T3, Rhizobium sp. ACO-34A en medio extracto de levadura-manitol más Ca^{2+}; T4, ACO-34A con extracto de levadura más Ca^{2+}; T5, fertilizante químico (control positivo); y T6, sin inóculo ni fertilizante (control negativo). Después de 50 días, se midieron los rasgos morfométricos y las concentraciones de macro y micronutrientes en hojas mediante ICP-OES. El tratamiento T2 mejoró significativamente variables del rendimiento biológico, incluyendo longitud de planta, peso y diámetro del tallo. En contraste, T3 incrementó significativamente las concentraciones foliares de P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, B y Ni ($p < 0.05$). La urea y el control sin inoculación mostraron el desempeño más bajo tanto en rendimiento como en contenido nutrimental. Los efectos de la inoculación dependieron de la cepa y del medio de cultivo utilizado para la preparación bacteriana. Estos resultados muestran que las cepas rizobianas nativas pueden mejorar el crecimiento y la calidad nutricional del chipilín, apoyando estrategias de biofortificación para cultivos culturalmente importantes y accesibles.

Palabras clave: *biofortificación; chipilín; rizobios nativos; probióticos vegetales; nutrición vegetal; Crotalaria longirostrata.*

INTRODUCCIÓN

Las plantas aromáticas y alimenticias tradicionales constituyen recursos estratégicos para la seguridad alimentaria, la conservación biocultural y la diversificación de dietas locales. Entre ellas, el chipilín (*Crotalaria longirostrata*) destaca por su uso en la gastronomía del sureste de México y Centroamérica, particularmente en tamales, sopas, tortillas y otros alimentos tradicionales. Además de su importancia cultural, esta leguminosa posee valor nutrimental por su contenido de minerales, compuestos fenólicos y otros metabolitos de interés alimentario, por lo que ha sido considerada una especie con potencial para contribuir a la nutrición de poblaciones locales (Peña-Valdivia et al., 2022; Mendez-López et al., 2023).

A pesar de su relevancia, los estudios enfocados en mejorar la calidad nutricional del chipilín mediante tecnologías sostenibles son limitados. En este contexto, la biofortificación microbiana surge como una alternativa para incrementar el contenido y la biodisponibilidad de nutrientes esenciales en tejidos comestibles, mediante la interacción planta-microorganismo (Bhardwaj et al., 2022; Dhiman et al., 2023). Las bacterias rizobianas, además de su papel en la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas, pueden promover el crecimiento vegetal mediante mecanismos como solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas, síntesis de sideróforos, colonización radical y mejora en la absorción de nutrientes (Purwaningsih et al., 2021; Timofeeva et al., 2023).

El presente trabajo evaluó el efecto de dos cepas rizobianas nativas, *Sinorhizobium mexicanum* ITTG-R7^{T} y *Rhizobium* sp. ACO-34A, sobre el crecimiento y la acumulación de macro y micronutrientes en plantas de chipilín. *S. mexicanum* ITTG-R7^{T} es una cepa nodulante aislada de *Acaciella angustissima* en México, mientras que *Rhizobium* sp. ACO-34A fue aislada de la rizósfera de *Agave americana* y ha mostrado potencial como bacteria promotora del crecimiento vegetal (Lloret et al., 2007; Rincón-Rosales et al., 2009; De La Torre-Ruiz et al., 2016). Asimismo, se analizó si el medio de cultivo utilizado para preparar el inoculante, con o sin fuente adicional de carbono, influye en la respuesta vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las cepas nativas *Sinorhizobium mexicanum* ITTG-R7^{T}, aislada de nódulos de *Acaciella angustissima*, y *Rhizobium* sp. ACO-34A, aislada de la rizósfera de *Agave americana* (Lloret et al., 2007; De La Torre-Ruiz et al., 2016). Las cepas pertenecen a la colección del Laboratorio de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez.

Las cepas fueron reactivadas en medio YEM-Ca^{2+} y posteriormente cultivadas en dos medios: YEM-Ca^{2+}, compuesto por extracto de levadura, manitol y calcio; y EXT-Ca^{2+}, compuesto por extracto de levadura y calcio, sin fuente adicional de carbono. El uso de estos medios permitió comparar el efecto de una formulación bacteriana enriquecida con fuente de carbono frente a una formulación sin carbono adicional sobre la respuesta morfométrica y nutrimental del cultivo.

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con seis tratamientos y diez repeticiones: T1, ITTG-$R7^T$ en YEM-Ca^{2+}; T2, ITTG-$R7^T$ en EXT-Ca^{2+}; T3, ACO-34A en YEM-Ca^{2+}; T4, ACO-34A en EXT-Ca^{2+}; T5, fertilización química con urea; y T6, control sin inoculación ni fertilización. Las semillas de chipilín fueron inoculadas y posteriormente establecidas en macetas bajo condiciones de invernadero. Se realizaron aplicaciones del inoculante al trasplante y 35 días después.

A los 50 días se evaluaron variables morfométricas como longitud de planta, longitud de raíz, longitud de hoja, diámetro de tallo, número de hojas, peso fresco total, peso aéreo, peso radical e índice SPAD, siguiendo criterios previamente utilizados para la evaluación de parámetros de crecimiento vegetal (Rincón-Molina et al., 2020). El contenido de nitrógeno se determinó mediante el método Dumas, mientras que P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Ni y Mo se analizaron mediante digestión por microondas y espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente, de acuerdo con metodologías analíticas reportadas para la determinación de elementos en muestras vegetales y de suelo (Jung et al., 2003; Barzallo et al., 2021).

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Las comparaciones de medias se realizaron con la prueba de Tukey utilizando el paquete *agricolae* en RStudio (Mendiburu & Simon, 2015). Adicionalmente, se aplicó análisis de componentes principales y mapas de calor para explorar asociaciones entre tratamientos, variables de crecimiento y acumulación nutrimental, empleando herramientas de análisis multivariado en RStudio y el paquete *Factoextra* (RStudio Team, 2021; Rincón-Molina et al., 2022a).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inoculación con cepas rizobianas nativas modificó significativamente el crecimiento y el perfil nutrimental del chipilín. Los tratamientos R7+EXT-Ca^{2+} y ACO-34A+EXT-Ca^{2+} promovieron los mayores incrementos en longitud aérea de planta, con valores superiores a los controles químico y no inoculado. De manera similar, R7+EXT-Ca^{2+}, ACO-34A+EXT-Ca^{2+} y ACO-34A+YEM-Ca^{2+} aumentaron significativamente el peso total de planta y el diámetro de tallo, indicando un efecto positivo de las cepas sobre el rendimiento biológico.

En cuanto al contenido nutrimental, el tratamiento ACO-34A+YEM-Ca^{2+} destacó por incrementar significativamente las concentraciones foliares de P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, B y Ni. Este resultado sugiere que la cepa ACO-34A, aun cuando no es una cepa nodulante clásica, puede inducir mecanismos alternativos de promoción vegetal y absorción nutrimental, probablemente asociados con colonización radical, producción de fitohormonas y mejora de la arquitectura de la raíz.

El análisis multivariado mostró una separación clara entre tratamientos biológicos y controles. Los inoculantes preparados en EXT-Ca^{2+} se asociaron principalmente con variables de crecimiento, como longitud total, peso de planta, diámetro de tallo y peso radical. En contraste, los inoculantes preparados en YEM-Ca^{2+} se relacionaron con una mayor acumulación de macro y micronutrientes en tejido foliar. Los controles, especialmente el tratamiento con urea, presentaron respuestas menos integrales, asociándose principalmente con algunos elementos específicos, pero no con una mejora generalizada del crecimiento y la calidad nutrimental.

CONCLUSIONES

La inoculación con *Sinorhizobium mexicanum* ITTG-$R7^T$ y *Rhizobium* sp. ACO-34A mejoró el crecimiento y la calidad nutricional del chipilín, lo que evidencia el potencial de las cepas rizobianas nativas como bioinsumos para cultivos alimentarios tradicionales. El medio de cultivo utilizado para preparar el inoculante influyó en la respuesta vegetal: los medios sin fuente adicional de carbono favorecieron principalmente el rendimiento biológico, mientras que los medios enriquecidos con carbono promovieron mayor acumulación de nutrientes en hojas.

Estos resultados demuestran que la biofortificación rizobiana puede ser una estrategia sostenible para incrementar el valor nutricional de cultivos culturalmente importantes y accesibles para la población. Asimismo, el desempeño de *Rhizobium* sp. ACO-34A sugiere que cepas no nodulantes también pueden desempeñar un papel relevante en la biofertilización de leguminosas mediante mecanismos independientes de la nodulación. Futuras investigaciones deberán evaluar estrategias de coinoculación y validación en campo para optimizar el uso de estos recursos genéticos bacterianos en sistemas agrícolas regionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barzallo, D., Vera, H., Gavin, C., & Lazo, R. (2021). Determinación simultánea de metales traza en muestras de suelo mediante espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES). *Ecuadorian Science Journal, 5*, 130–139. https://doi.org/10.46480/esj.5.4.176

Bhardwaj, A. K., Chejara, S., Malik, K., Kumar, R., Kumar, A., & Yadav, R. K. (2022). Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1055278. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055278

Camarillo-Castillo, F., & Mangan, F. X. (2020). Biological nitrogen fixation in chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.), a sustainable nitrogen source for commercial production. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 26*, 125–141. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.01.002

De La Torre-Ruiz, N., Ruiz-Valdiviezo, V. M., Rincón-Molina, C. I., Rodríguez-Mendiola, M., Arias-Castro, C., Gutiérrez-Miceli, F. A., Palomeque-Domínguez, H., & Rincón-Rosales, R. (2016). Effect of plant growth-promoting bacteria on the growth and fructan production of *Agave americana* L. *Brazilian Journal of Microbiology, 47*, 587–596. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.010

Dhiman, K., Sharma, D., Kumari, R., & Tomar, P. (2023). Biofortification of crops using microbes: A promising sustainable agriculture strategy. *Journal of Plant Nutrition, 46*, 2912–2935. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2160755

Hernández-Reyes A, Guzmán-Albores JM, De León-Rodríguez A, Ruíz-Valdiviezo VM, Rodríguez-Ortiz LR, Barba-de la Rosa AP (2024) Toxicological and sedative effects of Chipilin (Crotalaria longirostrata) leaf extracts obtained by maceration and supercritical fluid extraction. ACS Omega 9:18862–18871. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c08290

Jung, S., Rickert, D. A., Deak, N. A., Aldin, E. D., Recknor, J., Johnson, L. A., & Murphy, P. A. (2003). Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 80*, 1169–1173. https://doi.org/10.1007/s11746-003-0837-3

Lloret, L., Ormeño-Orrillo, E., Rincón, R., Martínez-Romero, J., Rogel-Hernández, M. A., & Martínez-Romero, E. (2007). *Sinorhizobium mexicanum* sp. nov., a new species nodulating *Acacia angustissima* in Mexico. *Systematic and Applied Microbiology, 30*, 280–290. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2006.12.002

Mendiburu, F. D., & Simon, R. (2015). Agricolae: Ten years of an open source statistical tool for experiments in breeding, agriculture and biology. *PeerJ PrePrints, 3*, e1404v1. https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1404v1

Mendez-López, A. Y., del Carmen Lagunes-Espinoza, L., González-Esquinca, A. R., Hernández-Nataren, E., & Ortiz-García, C. F. (2023). Phenological characterization of chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.) and relationship between the phenological stage and chemical composition of leaves. *South African Journal of Botany, 154*, 140–148. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.006

Peña-Valdivia, C., Salinas Morales, J., Vázquez Sánchez, M., Trejo, C., López Palacios, C., & Padilla Chacón, D. D. (2022). Componentes del rendimiento de *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. en Guerrero, México. *Polibotánica, 1*, 101–121. https://doi.org/10.1007/s40415-023-00933-5

Purwaningsih, S., Agustiyani, D., & Antonius, S. (2021). Diversity, activity, and effectiveness of *Rhizobium* bacteria as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) isolated from Dieng, Central Java. *Iranian Journal of Microbiology, 13*, 130. https://doi.org/10.18502/ijm.v13i1.5504

Rincón-Molina, C. I., Martínez-Romero, E., Ruiz-Valdiviezo, V. M., Velázquez, E., Ruiz-Lau, N., Rogel-Hernández, M. A., Villalobos-Maldonado, J. J., & Rincón-Rosales, R. (2020). Plant growth-promoting potential of bacteria associated to pioneer plants from an active volcanic site of Chiapas, Mexico. *Applied Soil Ecology, 146*, 103390. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103390

Rincón-Molina, C. I., Martínez-Romero, E., Aguirre-Noyola, J. L., Manzano-Gómez, L. A., Zenteno-Rojas, A., Rogel, M. A., & Rincón-Rosales, R. (2022a). Bacterial community with plant growth-promoting potential associated to pioneer plants from an active Mexican volcanic complex. *Microorganisms, 10*, 1568. https://doi.org/10.3390/microorganisms10081568

Rincón-Rosales, R., Lloret, L., Ponce, E., & Martínez-Romero, E. (2009). Rhizobia with different symbiotic efficiencies nodulate *Acaciella angustissima* in Mexico, including *Sinorhizobium chiapanecum* sp. nov., which has common symbiotic genes with *Sinorhizobium mexicanum*. *FEMS Microbiology Ecology, 67*, 103–117. https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00590.x

RStudio Team. (2021). *RStudio: Integrated Development Environment for R* (1.4.1717). RStudio, PBC. http://www.rstudio.com/

Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2023). Plant growth-promoting soil bacteria: Nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophore production, and other biological activities. *Plants, 12*, 4074. https://doi.org/10.3390/plants12244074

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

APLICACIÓN FOLIAR DE MICRONUTRIENTES EN EL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativum* L.) EN INVERNADERO

José M. Martínez Caracheo[1]; Luis F. Herrera Mendoza[1]; Ian P. Suarez Joya[1]; Edgar A. Meléndez Pescador[1]; Juan P. Gonzáles Morales[2¶]; Luis P. Guevara Acevedo[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. [2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. ¶Autor de correspondencia: luis.ga@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de micronutrientes y extractos de algas marinas sobre variables de crecimiento en pepino persa bajo condiciones de invernadero. El experimento se realizó en el Instituto Tecnológico Nacional de México campus Roque, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones, tres tratamientos y un testigo comercial. Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares de micronutrientes en dosis comercial (DC) de 3.27 g L^{-1}, 2xDC a 6.54 g L^{-1} y 10xDC con 32.7 g L^{-1} además de un tratamiento con algas marinas a dosis de 5 mL L^{-1}. A los 8 días después de la aplicación se tomaron 3 plantas por unidad experimental y se midieron las variables longitud de planta, número de hojas, diámetro de tallo y contenido relativo de clorofila SPAD. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas en longitud de planta y número de hojas, así como diferencias significativas en contenido de clorofila. El tratamiento con micronutrientes en dosis 10xDC a dosis de 32.7 g L^{-1} presentó los mejores resultados, alcanzando una altura promedio de 58.58 cm, un promedio de 11.09 hojas por planta y valores superiores de clorofila respecto al resto de los tratamientos. En contraste, el diámetro del tallo no mostró diferencias significativas entre tratamientos.

Palabras clave: *micronutrientes, crecimiento, experimento, clorofila, tratamientos*

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of different doses of micronutrients and seaweed extracts on growth variables in Persian cucumber under greenhouse conditions. The experiment was conducted at the National Technological Institute of Mexico, Roque campus, using a completely randomized block design with five replicates, three treatments, and a commercial control. The treatments consisted of foliar applications of micronutrients at commercial doses CD of 3.27 g L^{-1}, 2xCD at 6.54 g L^{-1}, and 10xCD at 32.7 g L^{-1}, in addition to a seaweed treatment at a dose of 5 mL L^{-1}. Eight days after application, three plants per experimental unit

were taken, and the following variables were measured: plant length, number of leaves, stem diameter, and relative chlorophyll content SPAD. The results showed highly significant differences in plant length and number of leaves, as well as significant differences in chlorophyll content. The micronutrient treatment at a dose of 10xDC 32.7 g L^{-1} yielded the best results, achieving an average height of 58.58 cm, an average of 11.09 leaves per plant, and higher chlorophyll levels compared to the other treatments. In contrast, stem diameter did not show significant differences between treatments.

Keywords: *micronutrients, growth, experiment, chlorophyll, treatments*

INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de gran importancia económica a nivel mundial debido a su alta demanda en fresco y su relevancia en sistemas de producción intensiva, especialmente en agricultura protegida. En países como México, su cultivo ha cobrado mayor interés por su valor en exportación y su adaptabilidad a diferentes condiciones de manejo agronómico (Monge-Pérez, 2021; Moreno *et al*., 2024). Esta especie pertenece a la familia Cucurbitaceae y se caracteriza por ser una planta herbácea anual con crecimiento rápido y sistema radicular superficial, lo que la hace altamente dependiente de un adecuado suministro de agua y nutrientes (Marcano *et al*., 2018). El crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino están influenciados por factores ambientales como temperatura, humedad y radiación solar, así como por el manejo agronómico aplicado. Diversos estudios han demostrado que estos factores inciden directamente en variables como la altura de la planta, número de hojas y rendimiento del fruto, siendo este último uno de los indicadores más importantes en la producción (Monge-Pérez, 2021). Asimismo, la selección de híbridos y variedades adecuadas puede mejorar significativamente la productividad y calidad del cultivo bajo diferentes sistemas de producción (Moreno *et al*., 2024). Por otra parte, la nutrición vegetal juega un papel fundamental en el desarrollo del pepino, no solo en términos de macronutrientes, sino también en la disponibilidad de microelementos esenciales como hierro, zinc, manganeso y boro. Estos micronutrientes participan en procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, la síntesis de enzimas y la formación de estructuras reproductivas, por lo que su deficiencia puede limitar el crecimiento y reducir el rendimiento del cultivo (Garrido *et al*., 2024; Pilla-Bardales *et al.,* 2025). En este sentido, el uso de tecnologías agrícolas como la fertilización balanceada, biofertilizantes y sistemas de riego eficientes permite optimizar el aprovechamiento de nutrientes y mejorar tanto la productividad como la calidad del fruto, contribuyendo a una producción más sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Roque, utilizando un área experimental de 90 m². Para el establecimiento del cultivo se trabajó con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), integrado por cinco bloques, tres tratamientos y un testigo comercial. Los tratamientos evaluados consistieron en diferentes concentraciones de micronutrientes y extracto de algas marinas: DC a dosis de 3.27 g L^{-1} de micronutrientes, 2xDC a 6.54 g L^{-1} de micronutrientes, 10xDC con 32.7 g L^{-1} de micronutrientes (Tradecorp AZ®) y un testigo comercial de algas marinas con dosis de 5 mL L^{-1} NG-PLUS® (De asistencia Biotecnológica). Se utilizó pepino variedad persa, cuyas plántulas fueron trasplantadas manteniendo una separación de 30 cm entre plantas, en camas de 1.20 metros de ancho y una longitud de 15 metros. Previo al trasplante, el suelo fue acondicionado y cubierto con acolchado agrícola. Posteriormente se instaló un sistema de riego por goteo compuesto por dos cintillas por cama, proporcionando aproximadamente 1 m³ de agua semanal durante el ciclo del cultivo. Además, se realizaron aplicaciones de enraizador (Raizgrán® Plus) mediante fertirriego, utilizando una dosis de 500 g por evento de riego. Durante el desarrollo del cultivo se presentó incidencia de araña roja (*Tetranychus urticae*), por lo que se aplicó el insecticida (Rotaprid®), utilizando la dosis recomendada de 1 L ha^{-1} mediante aplicación foliar además de que se presentó pulgón para el cual se aplico el insecticida (Elimiplan ®) utilizando la dosis recomendada de 500 g ha^{-1}. Los tratamientos comenzaron a aplicarse a los 15 días después del trasplante, las aplicaciones se realizaron de manera foliar utilizando un aspersor manual Truper® con capacidad de 2 L, asignando una bomba para cada uno de los tratamientos con el fin de evitar contaminaciones entre los tratamientos. Asimismo, las aplicaciones se efectuaron una vez por semana durante el periodo de evaluación. Para la toma de datos, se seleccionaron tres plantas al azar por unidad experimental, se registró la altura de planta utilizando un flexómetro Truper®, midiendo desde la base hasta el ápice de crecimiento; el diámetro del tallo fue determinado con ayuda de un vernier (Atverce®); el número de hojas se contabilizó manualmente; y el contenido relativo de unidades SPAD de clorofila se evaluó mediante un medidor SPAD Minolta® esta metodología se llevó a cabo dos veces por semana Finalmente, los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa SAS® versión 9.4 para Windows, mediante un DBCA con un análisis de varianza y cuando este presento diferencias significativas se realizó una prueba de medias Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indicaron que la aplicación de los tratamientos a base de micronutrientes y algas marinas influyó con efecto altamente significativo en las variables longitud de planta ($Pr > F, < 0.0001$) y número de hojas ($Pr > F, < 0.0001$), lo cual demuestra que la aplicación foliar de micronutrientes favoreció el crecimiento

vegetativo de las plantas. El contenido de clorofila (SPAD) también fue influido significativamente (Pr > F, 0.0002) por los tratamientos, indicando una respuesta favorable de las plantas tratadas, posiblemente relacionada con una mayor eficiencia fotosintética y mejor absorción de nutrientes. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Sánchez *et al*. (2019), quienes mencionan que la aplicación de micronutrientes como Fe, Zn, Mn y B favorece procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino, además de mejorar variables asociadas al vigor vegetal y contenido de clorofila. De igual manera, Gómez *et al*. (2022) reportaron incrementos significativos en variables fisiológicas y productivas en plantas de pepino bajo aplicaciones foliares de micronutrientes, señalando que estos compuestos mejoran la actividad metabólica y el rendimiento fotosintético del cultivo. De igual manera, Sadeghian (2013) señala que los micronutrientes son indispensables para el crecimiento adecuado de los cultivos, esto debido a su participación en procesos metabólicos, síntesis de clorofila y actividad enzimática, lo cual repercute positivamente en variables de crecimiento y vigor vegetal. Para el diámetro de tallo no se encontraron resultados significativos entre los tratamientos.

Cuadro 2. Cuadrado medios de las variables de crecimiento de pepino por de aplicación foliar de micronutrientes y algas.

FV	gl	Cuadrado Medio			
		Longitud de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro del tallo (mm)	Clorofila (SPAD)
Trat (T)	3	439.58**	112.24**	0.84^{ns}	75.34*
Muest (M)	6	21329.6**	94.16**	37.61**	61.95**
Bloq	1	838.21*	13.54*	21.94**	35.18^{ns}
T x M	18	44.21^{ns}	3.29^{ns}	2.81*	32.05*
EE	111	54.93	1.87	1.17	10.55
Total	139	-	-	-	-
R^2		0.95	0.82	0.69	0.5
C. V.		13.55	14.82	13.97	7.52

FV= Fuente de variación; gl = Grados libertad; Trat (T)= Tratamiento; Muest (M)= Muestreo; Bloq= Bloque; T x M= Tratamiento*Muestreo; EE= Error Experimental; $R^{2=}$ R- Cuadrado; C.V= Coeficiente de variación

En la Figura 1, se pueden ver los resultados de los tratamientos en la etapa de crecimiento vegetativo, donde se observa que la aplicación de micronutrientes de forma foliar en una dosis de 10xDC a dosis de 32.7 g L^{-1} presento los mayores valores para todas las variables, después la dosis de 2xDC con 6.54 g L^{-1} de micronutrientes al tener resultados parecidos a los de algas marinas y la dosis comercial presento los valores más bajos para todas las variables.

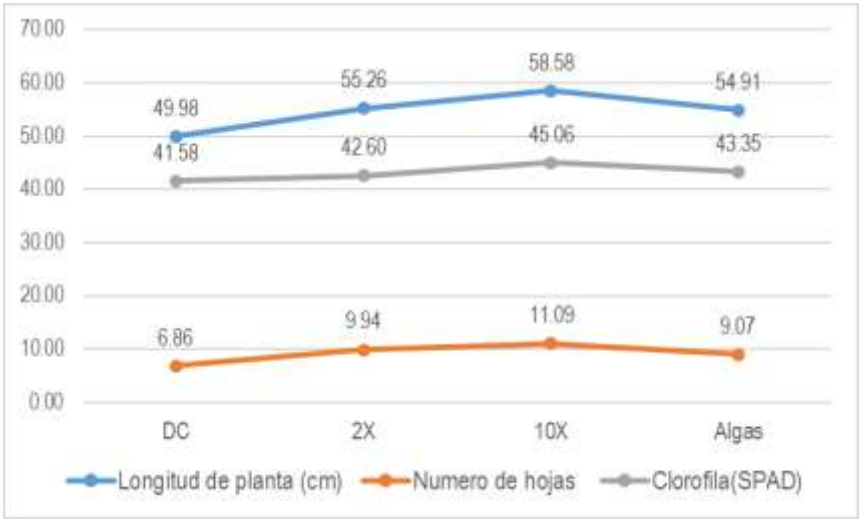


Figura 1. Evaluación de los diferentes tratamientos de micronutrientes y algas en pepino.

Para longitud de planta la aplicación foliar de micronutrientes en una dosis de 10xDC a 32.7 g L^{-1} presento el valor más alto teniendo una altura promedio de 58.58 cm, mientras tanto seguido de una dosis de micronutrientes de 2xDC con 6.54 g L^{-1} con una altura promedio 55.26 cm parecido a los resultados de las algas marinas con dosis de 5 mL L^{-1} presento una altura promedio de 54.91 cm y siendo las de menor valor la DC con 3.27 g L^{-1} con una altura de 49.98 cm. Por otro lado, el número de hojas se observó que las plantas con mayor número de hojas fue el tratamiento de 10xDC a dosis de 32.7 g L^{-1} con un promedio de 11.09, seguido de 2xDC con 6.54 g L^{-1} y algas marinas que obtuvieron valores similares y el que menos tuvo fue DC con valor de 6.86. A su vez, los valores presentados en unidades SPAD de clorofila se determinaron los valores más altos en la aplicación de 10xDC a 3.27 g L^{-1} y algas marinas con valores de 45.06 y 43.35 respectivamente.

CONCLUSIONES

Para tener mayor producción de pepino en invernadero se recomienda la aplicación de micronutrientes en una dosis de 10xDC a 32.7 g L^{-1} debido a que se aumenta un 17.2% la longitud de la planta, un 22.3% en número de hojas y un 4.0% en unidades SPAD de clorofila.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barraza, F. V., Sánchez, E., Moreno, E. C., & Pineda, J. (2018). *Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (Cucumis sativus L.)*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12(3), 611-620.

Garrido, F., Dávila Medina, M. D., & Hernández Juárez, A. (2024). Nematodos asociados al cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) y efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento. *Biotecnia, 26*(1).

Guillén-Enríquez, R. R., Zuñiga-Estrada, L., Ojeda-Barrios, D. L., Rivas-García, T., Trejo-Valencia, R., & Preciado-Rangel, P. (2022). *Efecto de la nanobiofortificación con hierro en el rendimiento y compuestos bioactivos en pepino*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13(spe28), 173-184

Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., Escalona, A., & Pérez, P. (2018). Crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9*(8), 1629–1636.

Monge-Pérez, J. E. (2021). Pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado en ambiente protegido: correlaciones entre variables de crecimiento y rendimiento. *Tecnología en Marcha, 34*(4), 75–91

Moreno Gamarra, L. R., Caballero Casuriaga, O., & Valdez Ocampo, F. D. (2024). Productividad de híbridos de pepino con dosificaciones de fertilizante potásico. *Revista Científica El Surco, 7*(2), 8–14.

Sadeghian, S. (2013). *Nutrición de cafetales*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Cenicafé, 85–116.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CRECIMIENTO INICIAL DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L.) EN RESPUESTA A LA BIOFERTILIZACIÓN CON *Rhizobium*

Solís Zebadúa Stephanie[1]; Sarmiento Megchum Erick Fabián[1]; Rincón Rosales Reiner[1]; Rincón Molina Clara Ivette[1]; Manzano Gómez Luis Alberto[1,2]; Gen Jiménez Adriana[1]; Maldonado Gómez Julio César[1]; Rincón Molina Francisco Alexander[1]

[1]Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Laboratorio de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa. Carretera Panamericana km 1080, Boulevares. 29050. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. (M19270398@tuxtla.tecnm.mx, M19270426@tuxtla.tecnm.mx, reiner.rr@tuxtla.tecnm.mx, clara.rm@tuxtla.tecnm.mx, D14270281@tuxtla.tecnm.mx, D10270415@tuxtla.tecnm.mx). [2]3R Biotec S.A. de C.V., Departamento de Investigación y Desarrollo. Colonia Centro, 233. 29000 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. (D14270281@tuxtla.tecnm.mx)

RESUMEN

La agricultura moderna se enfrenta al reto de aumentar la producción de alimentos y, al mismo tiempo, reducir su impacto ambiental. En este contexto, el uso de bacterias rizobiales como probióticos vegetales representa una alternativa sostenible para mejorar la nutrición de los cultivos. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres cepas nativas de *Rhizobium* (*R. calliandrae*, *R. mayense* y *R. jaguaris*) en el crecimiento inicial de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en condiciones de invernadero. Las plantas de zanahoria (cv. Nantes Scarlet) se cultivaron en suelo con alta disponibilidad de macronutrientes y propiedades fisicoquímicas favorables. Se evaluaron ocho tratamientos, incluyendo combinaciones de inoculantes bacterianos con y sin fertilizante químico, un control con fertilizante químico y un control negativo. Los resultados preliminares a los 11 días después del trasplante revelaron diferencias significativas en la altura de las plantas. Las plantas más altas se encontraron en los tratamientos con inoculación de *Rhizobium* sola y en el control negativo, ambos superando al control con fertilizante químico. Los resultados sugieren que las cepas rizobiales promovieron el crecimiento inicial, posiblemente al aumentar la disponibilidad de micronutrientes y modular los mecanismos de absorción de nutrientes de la planta. El estudio respalda el uso de la biofertilización con rizobios como estrategia para reducir el uso de insumos químicos en el cultivo de zanahoria y mejorar el desarrollo temprano de la planta.

Palabras clave: *Probiótico vegetale, absorción de nutrientes, agricultura sostenible, interacciones planta-microorganismo.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura actual se encuentra sometida a una doble presión: sostener el incremento de la producción alimentaria y, simultáneamente, reducir los impactos ecológicos derivados de los sistemas agrícolas intensivos. En este contexto, la biofertilización y la biofortificación mediadas por inoculantes microbianos han adquirido relevancia como herramientas biotecnológicas orientadas a mejorar el desempeño agronómico, la eficiencia nutrimental y la calidad de los cultivos. Entre los microorganismos de interés, las bacterias del género *Rhizobium* han sido ampliamente estudiadas por su papel en la fijación simbiótica de nitrógeno en leguminosas; sin

embargo, también se ha documentado su capacidad para promover el crecimiento de especies no leguminosas mediante mecanismos como la producción de fitohormonas, la movilización de nutrientes y la mejora en los procesos de absorción vegetal (Biswas et al., 2000; Flores-Félix et al., 2013).

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es una hortaliza de raíz con importancia agronómica, alimentaria y nutricional a escala global, principalmente por su contenido de compuestos carotenoides, entre ellos el beta caroteno. No obstante, su desarrollo y productividad pueden verse afectados por el agotamiento progresivo del suelo, los desequilibrios nutrimentales y la baja disponibilidad de elementos esenciales. Diversos estudios han señalado que la incorporación de bacterias benéficas puede mejorar la biodisponibilidad de fósforo, micronutrientes y otros elementos involucrados en el metabolismo vegetal, lo cual favorece el crecimiento y la eficiencia fisiológica del cultivo (Kumar et al., 2019; Belimov et al., 2020).

El presente estudio evalúa el efecto de tres cepas nativas de *Rhizobium* sobre el desarrollo inicial de zanahoria en condiciones de invernadero. La investigación en curso se centra en parámetros de crecimiento y fertilidad del suelo, con miras a evaluar el impacto en la calidad nutricional del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas de biofertilización en plantas de zanahoria se realizaron en el invernadero del Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología San Lorenzo, perteneciente al Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal, ICAMEX. El sitio experimental se localiza en el Conjunto SEDAGRO S/N, Rancho San Lorenzo, C.P. 52140, Metepec, Estado de México, con coordenadas geográficas 19°14'26.3" Norte y 99°35'14.1" Oriente.

Las plantas se obtuvieron a partir de semillas de zanahoria (*Daucus carota*) variedad Nantes Scarlet, adquiridas de la empresa Caloro®, ubicada en Guadalajara, Jalisco. El lote presentó 90% de germinación, 99% de pureza y tratamiento previo con Thiram. Las cepas bacterianas *Rhizobium calliandrae* LBP2-1, *Rhizobium mayense* NSJP1-1 y *Rhizobium jaguaris* SJP1-2 procedieron de la colección de cepas del Laboratorio 1 de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Estas cepas fueron aisladas originalmente de nódulos radicales de *Calliandra grandiflora* (Rincón-Rosales et al., 2013) y se han caracterizado por su potencial como promotoras del crecimiento vegetal; además, sus genomas indican ausencia de rasgos asociados con toxicidad o patogenicidad para humanos, plantas y ambiente (Gen-Jiménez et al., 2023). Las semillas de zanahoria var. Nantes Scarlet fueron sembradas en bandejas de polietileno de 200 cavidades, con apertura de 2.3 × 1.8 cm, altura de 4.2 cm, base de 1.9 cm y capacidad volumétrica aproximada de 13 mL por celda. Como sustrato de propagación se utilizó una mezcla de Peat moss con agrolita

en proporción 1:2 v/v, con el propósito de favorecer aireación, retención de humedad y emergencia uniforme de las plántulas.

Las cepas bacterianas fueron reactivadas en medio YM durante 24 horas a 140 rpm y posteriormente escaladas en el mismo medio bajo condiciones de agitación. Se evaluaron ocho tratamientos: T1, *R. calliandrae*; T2, *R. mayense*; T3, *R. jaguaris*; T4, *R. calliandrae* más fertilizante; T5, *R. mayense* más fertilizante; T6, *R. jaguaris* más fertilizante; T7, fertilizante triple 19 como control positivo; y T8, control negativo. Cada tratamiento incluyó 24 repeticiones, para un total de 192 unidades experimentales.

Diez días antes del trasplante, el suelo hortícola fue desinfectado con 1.5 L del fungicida PREVICUR® Energy por maceta. Previamente, las macetas fueron hidratadas con 1 L de agua corriente para alcanzar aproximadamente 75% de saturación, conforme al análisis de capacidad de retención de agua. Las plantas fueron trasplantadas 29 días después de la germinación en bolsas de polietileno de 50 cm de altura y 30 cm de ancho, con 4 kg de sustrato hortícola por unidad experimental. En los tratamientos bacterianos T1 a T6, las raíces fueron inoculadas por inmersión durante 20 minutos en caldo YM ajustado a una densidad óptica de D.O.600 = 0.2, equivalente aproximadamente a 10^7 UFC/mL. Las plantas se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar y se regaron con 1 L de agua corriente cada siete días.

La primera biofertilización se realizó 12 días después del trasplante mediante aplicación anillada de 10 mL por planta. La variable altura fue registrada un día antes de dicha aplicación, correspondiente a 11 días después del trasplante y 49 días después de la siembra. El fertilizante utilizado fue Poly-Feed® GG vegetativo 19-19-19 + M.E., el cual, de acuerdo con la ficha técnica para zanahoria, se diluyó a razón de 10 g por litro de agua para su aplicación por fertirriego.

El análisis fisicoquímico del suelo hortícola fue realizado por el laboratorio de suelos del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal, ICAMEX. Dicho análisis permitió caracterizar las propiedades texturales, químicas y de fertilidad inicial del sustrato utilizado durante el experimento.

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza, ANOVA, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey con $p < 0.05$, utilizando el software STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las semillas de zanahoria germinaron entre los 9 y 11 días posteriores a la siembra, lo que indica una alta viabilidad del material vegetal y una emergencia compatible con el comportamiento fenológico esperado para esta especie. Este resultado coincide con lo descrito por Vega-Rojas et al. (2012) en el análisis de crecimiento de híbridos de zanahoria. Entre los factores que condicionan la germinación de esta hortaliza se encuentran la temperatura, la humedad relativa y la disponibilidad de agua para iniciar el proceso de imbibición de la semilla. Durante el periodo de germinación, la temperatura promedio fue de 19.4 °C y la humedad relativa alcanzó 70.8%, condiciones bajo las cuales se obtuvo 99% de germinación.

Estos valores son congruentes con lo reportado por Sousa-Pereira et al. (2008), quienes indicaron que la temperatura óptima para la germinación de zanahoria variedad Brasília se aproxima a 20 °C, con porcentajes de germinación de 85%. Los mismos autores señalaron que temperaturas elevadas, cercanas a 35 °C, reducen drásticamente la germinación hasta valores cercanos a 27%, lo cual evidencia que el estrés térmico durante esta etapa puede comprometer el establecimiento inicial del cultivo.

Otros factores que pueden modificar la respuesta germinativa incluyen el lote de semilla, el momento de producción, la variedad y el orden de las umbelas de las cuales fueron recolectadas las semillas (Paparella et al., 2024; Nongthombam et al., 2025). Adicionalmente, un sustrato con baja compactación y una profundidad de siembra adecuada favorecen la velocidad y uniformidad de emergencia, debido a que disminuyen la resistencia mecánica sobre la raíz primaria, el hipocótilo y los cotiledones en desarrollo. En este sentido, profundidades cercanas a 1 o 2 cm suelen ser favorables para diversas especies hortícolas, mientras que la compactación excesiva o las siembras profundas pueden retrasar o impedir la emergencia, afectando la morfología temprana de la plántula (Weaver, 1980; Wilson y Thurling, 1996).

El análisis fisicoquímico (tabla 1) del suelo hortícola mostró un pH de 7.5. La composición textural fue de 84% de arena, 8% de arcilla y 8% de limo, por lo que el suelo se clasificó como areno franco. Asimismo, la densidad aparente fue de 0.87 g/cm³, valor asociado con suelos de baja compactación y con características favorables para el desarrollo radical. Estas condiciones son relevantes para el cultivo de zanahoria, ya que la formación de una raíz pivotante recta, uniforme y de buena calidad comercial requiere suelos con adecuada aireación, drenaje y baja resistencia mecánica.

Un pH de 7.5 corresponde a una condición moderadamente alcalina, la cual puede limitar la disponibilidad de micronutrientes esenciales como hierro, manganeso, zinc y cobre (Gupta et al., 2008). En suelos alcalinos, la

presencia de carbonatos de calcio, fosfatos de calcio y grupos hidroxilo favorece la precipitación o inmovilización de estos elementos, reduciendo su disponibilidad para las plantas (Szeląg-Sikora et al., 2019). Asimismo, la disponibilidad de metales como hierro y aluminio puede modificarse bajo estas condiciones, con posibles efectos sobre la absorción nutrimental (Riaz et al., 2020; Martínez-Soto et al., 2022).

La textura areno franca favorece la aireación y el drenaje, factores que reducen la compactación y facilitan el crecimiento de raíces pivotantes. Seljåsen et al. (2012) y Añez y Espinoza (2002) reportaron respuestas favorables de zanahoria en suelos con predominancia de arena o características franco arenosas. Sin embargo, los suelos arenosos también pueden presentar menor contenido de algunos micronutrientes, como hierro, debido a procesos de lixiviación y baja capacidad de retención de ciertos elementos (Szeląg-Sikora et al., 2019).

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo para cultivos hortícolas.

Parámetro	Método	Resultado	Interpretación	Rango óptimo zanahoria	Cita
pH	1:2 suelo/agua	7.5	Medianamente alcalino	6.0 – 6.8	Seljåsen et al., 2012; Kumar et al., 2023
% Arena	Bouyoucos	84%	Areno franco	40 – 85%	Seljåsen et al., 2012; Rohwer, 2021
% Arcilla		8%		5 – 20%	
% Limo		8%		10 – 30%	
Densidad aparente	Probeta	0.87 g/cm^3	Suelos orgánicos		

La cantidad de carbono orgánico fue de 1.93% y la materia orgánica de 3.33%, valores clasificados como medios de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 y compatibles con los intervalos recomendados para zanahoria. La capacidad de intercambio catiónico fue de 48.68 meq/100 g, mientras que los contenidos de nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio se ubicaron en categorías altas o muy altas, tanto con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 como respecto a los requerimientos generales del cultivo (tabla 2).

El valor elevado de capacidad de intercambio catiónico sugiere una alta aptitud del suelo para retener y suministrar cationes esenciales. Este atributo es determinante para la fertilidad edáfica, ya que permite conservar nutrientes como calcio, magnesio y potasio en formas intercambiables, disponibles para la absorción vegetal (Yang et al., 2024). Aunque el pH ligeramente alcalino puede restringir ciertos micronutrientes, una CIC alta puede contribuir a mantener una disponibilidad adecuada de macronutrientes y amortiguar parcialmente pérdidas por lixiviación (Gen-Jiménez et al., 2025).

La materia orgánica cumple funciones centrales en la fertilidad del suelo, la estructura edáfica, la retención hídrica y la dinámica de nutrientes. En niveles moderados, como los observados en este estudio, puede favorecer el crecimiento de zanahoria al mejorar las condiciones físicas y químicas del sustrato, así como la capacidad de retener agua disponible para la planta (Fageria, 2012; Ankenbauer y Loheide, 2017; Minasny y McBratney, 2018; Lal, 2020).

El nitrógeno, fósforo y potasio se encontraron en concentraciones elevadas. El nitrógeno participa en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y compuestos asociados con el metabolismo fotosintético (Fathi, 2022). Sin embargo, en zanahoria, un exceso de nitrógeno puede favorecer crecimiento vegetativo desbalanceado, deformación de raíces pivotantes, ramificación excesiva y reducción de la calidad comercial. El fósforo interviene en la transferencia de energía, la división celular y el crecimiento radical, mientras que el potasio participa en la regulación osmótica, la actividad enzimática y la síntesis de carbohidratos (Fathi y Afra, 2023). Por ello, aunque la alta disponibilidad de estos elementos indica un suelo fértil, su acumulación excesiva o la aplicación adicional de fertilizantes puede inducir antagonismos nutrimentales y disminuir la disponibilidad de micronutrientes esenciales para el desarrollo equilibrado del cultivo (Szeląg-Sikora et al., 2019).

Cuadro2. Fertilidad del suelo hortícola.

Parámetro	Método	Resultado	NOM-021-SEMARNAT-2000	Rango óptimo zanahoria	Cita
Carbono orgánico	Walkley y Black	1.93%	Medio	1.5 – 3.0%	Szeląg-Sikora et al., 2019
Materia orgánica	Walkley y Black	3.33%	Medio	2-5%	Kumar et al., 2023
C.I.C.	Acetato de amonio	48.68 meq/100g	Muy alto	20 – 30 meq/100g	Curtin et al., 2015
Nitrógeno total	Kjeldahl	0.65%	Alto	0.2 – 0.5%	Szeląg-Sikora et al., 2019
Fósforo P_2O_5	Bray I	122.03 ppm	Muy alto		
Potasio (K)	EAA	2956.10 ppm	Muy alto		
Calcio (Ca)	EAA	3119.86 ppm	Muy alto		
Magnesio (Mg)	EAA	2928.00 ppm	Muy alto		

En conjunto, el análisis fisicoquímico indica que el suelo hortícola utilizado posee condiciones favorables de estructura, aireación, materia orgánica y disponibilidad de macronutrientes. Sin embargo, el pH moderadamente alcalino, el predominio de arena y los altos niveles de fertilidad obligan a un manejo nutrimental cuidadoso,

debido a que la adición excesiva de fertilizantes podría inducir desequilibrios iónicos, lixiviación de elementos o deficiencias micronutricionales inducidas.

Los datos sobre la altura de las plantas a los once días después del trasplante muestran diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Se muestran tres grupos diferentes, los tratamientos con las cepas inoculadas como el control negativo (1, 2, 3 y 8) muestran las mayores alturas, destacando *R. mayense* con 12.79 cm, seguido por los tratamientos con inoculación bacteriana y fertilización química (4, 5 y 6), y por último, el de menor altura, el tratamiento con fertilizante triple 19 (5.93 cm) (Cuadro 3). La diferencia de altura es muy visible entre tratamientos y se puede observar en la Figura 1.

Cuadro 3. Comparación de la altura de los tratamientos, prueba Tukey HSD ($P \leq 0.05$)

Tratamiento	Altura (cm)
1. Rhizobium calliandrae	11.31 ± 0.4369 A
2. Rhizobium mayense	12.79 ± 0.3336 A
3. Rhizobium jaguaris	12.08 ± 0.4389 A
4. R. calliandrae + fertilizante	8.10 ± 0.2963 B
5. R. mayense + fertilizante	7.87 ± 0.4129 B
6. R. jaguaris + fertilizante	7.75 ± 0.3970 B
7. Fertilizante triple 19	5.93 ± 0.2907 C
8. Control negative	12.5 ± 0.3268 A
Valor – p	0.0000
HSD ($p < 0.05$)	1.60947

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

La menor respuesta observada en el tratamiento con fertilización química podría estar relacionada con un exceso de macronutrientes en un suelo que ya presentaba concentraciones elevadas de nitrógeno, fósforo y potasio. La aplicación adicional del fertilizante pudo incrementar la concentración de sales o modificar el equilibrio iónico del sustrato, limitando la absorción de micronutrientes como hierro, zinc y manganeso. La sobrefertilización puede definirse como la aplicación de nutrientes por encima de la capacidad de asimilación de la planta, lo que no necesariamente incrementa la productividad y, por el contrario, puede generar acumulación de sales, antagonismos nutrimentales, alteraciones fisiológicas y afectaciones en la salud vegetal (Monge-Pacheco et al., 2007).



Figura 1. Panorama del comportamiento de zanahoria en los diferentes tratamientos y su altura de las plantas.

Algunas sintomatologías presentes podrían ser causa de dificiencias micronutricionales. La aparición de amarillamiento en las hojas jóvenes (Figura 2, (a)) podría indicar deficiencia de hierro. El hierro, aunque no forma parte de la clorofila, está involucrado en procesos de fotosíntesis que afectan directamente este proceso. Szeląg-Sikora et al., 2019 marcan la deficiencia de manganeso en zanahoria con un crecimiento retardado y reducción en rendimiento. Y por último, la deficiencia de zinc resulta en plantas enanas o de baja estatura, debido a que el zinc en las plantas actúa como estabilizador de proteínas y como cofactor enzimático en la síntesis de auxinas, el cual determina las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas (Figura 2, (b)).

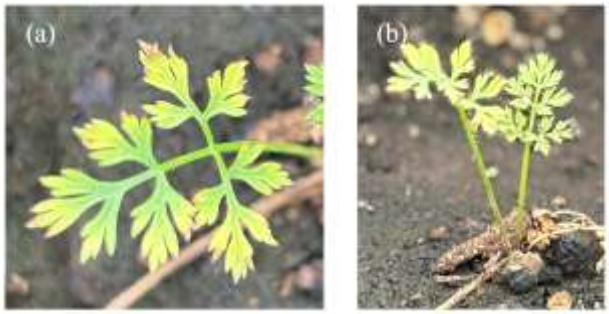


Figura 2. Sintomatologías en plantas con fertilizante químico: (a) amarillamiento en hojas, (b) enanismo.

Los tratamientos que combinaron *Rhizobium* con fertilizante presentaron una respuesta superior al fertilizante aplicado de manera individual, lo cual sugiere que las bacterias pudieron atenuar parcialmente los efectos negativos del desequilibrio nutrimental. Este efecto podría explicarse por mecanismos microbianos como la producción de sideróforos, la liberación de compuestos quelantes, la acidificación localizada de la rizosfera

mediante ácidos orgánicos y la producción de fitohormonas, entre ellas el ácido indolacético. Estos procesos pueden incrementar la disponibilidad de micronutrientes, regular la arquitectura radical y mejorar la eficiencia de absorción por parte de la planta.

Los resultados son coherentes con lo reportado por Flores-Félix et al. (2013), quienes documentaron incrementos en biomasa y altura de zanahoria inoculada con *Rhizobium*. De manera similar, Gen-Jiménez et al. (2023) señalaron que bacterias rizobiales pueden mejorar la absorción de nutrientes y estimular la producción de fitohormonas como auxinas y ácido indolacético, promoviendo procesos de división y elongación celular.
Las plantas con mayor altura, tanto las inoculadas con *Rhizobium* como las pertenecientes al control negativo, se desarrollaron en un sustrato con alta fertilidad, elevada capacidad de intercambio catiónico y contenido adecuado de materia orgánica. Esto indica que las condiciones edáficas por sí mismas fueron suficientes para sostener un crecimiento inicial favorable, incluso en ausencia de fertilización química. Sin embargo, la respuesta de los tratamientos inoculados sugiere que los rizobios podrían contribuir a optimizar la eficiencia fisiológica de la planta, especialmente bajo condiciones donde la disponibilidad de nutrientes es alta pero potencialmente desequilibrada.

La acción promotora de las cepas deberá corroborarse en etapas posteriores del ciclo del cultivo, particularmente mediante la evaluación de rendimiento, calidad morfológica de la raíz y composición nutrimental del órgano cosechado. Se ha documentado que las bacterias rizobiales pueden modular la nutrición vegetal a través de señales químicas, regulación rizosférica y mecanismos genéticos que ajustan la absorción de nutrientes conforme a las demandas fisiológicas de la planta. Esta modulación puede evitar la sobreacumulación de elementos, reducir riesgos de fitotoxicidad, limitar deformaciones morfológicas de la raíz y disminuir la acumulación de metales potencialmente tóxicos como cadmio y cobre, con implicaciones agronómicas y alimentarias relevantes (Biswas et al., 2000; Kumar et al., 2019; Szeląg-Sikora et al., 2019; Belimov et al., 2020; Quiri et al., 2020).

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares muestran que la inoculación con cepas de *Rhizobium*, particularmente *R. mayense*, favoreció de manera significativa el crecimiento inicial de *Daucus carota* L. A los 11 días después del trasplante se observaron diferencias estadísticas altamente significativas en la altura de planta entre tratamientos, con valores superiores en las plantas inoculadas únicamente con rizobios y en el control negativo. El tratamiento con *R. mayense* alcanzó una altura promedio de 12.79 ± 0.3336 cm, seguido por el control negativo con 12.5 ± 0.3268 cm y *R. jaguaris* con 12.08 ± 0.4389 cm. En contraste, el tratamiento con fertilización química presentó el menor valor, con 5.93 ± 0.2907 cm. Estos resultados sugieren que las cepas rizobiales pueden contribuir al

crecimiento temprano de zanahoria mediante mecanismos asociados con la modulación de la absorción nutrimental, la movilización de micronutrientes y la regulación fisiológica del cultivo. La respuesta observada también evidencia que, en suelos con alta fertilidad inicial, la aplicación adicional de fertilizantes químicos puede generar efectos desfavorables si no se ajusta a las condiciones nutrimentales del sustrato. En etapas posteriores será necesario evaluar la morfología de la raíz, el rendimiento y el contenido nutrimental del producto cosechado, con el fin de determinar con mayor precisión el efecto agronómico y biofortificante de la inoculación rizobial. En conjunto, la biofertilización con *Rhizobium* representa una estrategia con potencial para fortalecer la sostenibilidad de la producción hortícola y disminuir la dependencia de insumos químicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ankenbauer, K. J., & Loheide, S. P. (2017). The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow of the Sierra Nevada, CA. *Hydrological Processes*, 31(4), 891-901. https://doi.org/10.1002/hyp.11070

Añez, B., & Espinoza, W. (2002). Fertilización química y orgánica: efectos interactivos o independientes sobre la producción de zanahoria. Rev. Forest. *Venez*, 46(2), 47-54.

Belimov, A. A., et al. (2020). The role of symbiotic microorganisms, nutrient uptake and rhizosphere bacterial community in response of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes to elevated Al concentrations in soil. *Plants*, 9(12), 1801. https://doi.org/10.3390/plants9121801

Biswas, J. C., Ladha, J. K., & Dazzo, F. B. (2000). Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1644-1650. https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451644x

Curtin, D., Fraser, P. M., & Beare, M. H. (2015). Loss of soil organic matter following cultivation of long-term pasture: effects on major exchangeable cations and cation exchange capacity. *Soil Research*, 53(4), 377-385. https://doi.org/10.1071/SR14173

Fageria, N. K. (2012). Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(16), 2063-2113. https://doi.org/10.1080/00103624.2012.697234

Fathi, A. (2022). Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency. *Agrisost*, 28, 1-8. https://doi.org/10.5281/zenodo.7143588

Fathi, A., & Afra, J. M. (2023). Plant Growth and Development in Relation to Phosphorus: A review. Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. *Agriculture*, 80(1), 1-7. https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:2022.0012

Flores-Félix, J. D., et al. (2013). Use of *Rhizobium leguminosarum* as a potential biofertilizer for *Lactuca sativa* and *Daucus carota* crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(6), 876-882. https://doi.org/10.1002/jpln.201300116

Gen-Jiménez, A., et al. (2023). Enhance of tomato production and induction of changes on the organic profile mediated by *Rhizobium* biofortification. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1235930. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1235930

Gen-Jiménez, A., et al. (2025). Bacterias Rizosféricas y Endófitas con Potencial PGPB Aisladas del Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en Chiapas, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 43. https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2002

Gupta, N., Kening, W., & Liang, Z. (2008). Influence of iron-deficiency on the photosynthetic efficiency and antioxidant metabolism of an Indian mustard cultivar. *Journal of Plant Nutrition*, 31(5), 779-795.

Kumar, A., et al. (2019). Role of rhizobia for sustainable agriculture: lab to land. In Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Agricultural Sustainability: From Theory to Practices (pp. 129-149). *Springer Nature*.

Kumar, N., Bharose, R., & Thomas, T. (2023). Response of Different Combination Levels of NPK and FYM on Physicochemical Properties of Inceptisol Soil at Prayagraj District, Uttar Pradesh, India under Cultivation of Carrot (*Daucus carota*). *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(18), 321-326.

Lal, R. (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5), 3265-3277. https://doi.org/10.1002/agj2.20282

Martínez-Soto, R. A., et al. (2022). Effects of different land-use systems on soil physicochemical properties of a chernozem in northeast México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3), 1-15.

Minasny, B., & McBratney, A. B. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47. https://doi.org/10.1111/ejss.12475

Monge-Pacheco, E., et al. (2007). Efecto de la sobrefertilización nitrogenada en la calidad de las manzanas.

Nongthombam, A., et al. (2025). Study on Growth and Yield Performance of Various Carrot Varieties. *SSRN* 5284715. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5284715

Paparella, A., et al. (2024). Challenges and opportunities in the sustainable improvement of carrot production. *Plants*, 13(15), 2092. 10.3390/plants13152092

Riaz, M. U., et al. (2020). Fate of micronutrients in alkaline soils. In Resources are used efficiently in agriculture (pp. 577-613). Springer.

Rincón-Rosales, R., et al. (2013). *Rhizobium calliandrae* sp. nov., *Rhizobium mayense* sp. nov. and *Rhizobium jaguaris* sp. nov., rhizobial species nodulating the medicinal legume *Calliandra grandiflora*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(Pt_9), 3423-3429. https://doi.org/10.1099/ijs.0.048249-0

Rohwer, C. L. (2021). Carrot yield and shape altered by seeding rate and raised beds in clay-loam soil. *HortScience*, 56(6), 722-729. 10.21273/HORTSCI15823-21

Seljåsen, R., et al. (2012). Effects of genotype, soil type, year and fertilisation on sensory and morphological attributes of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(8), 1786-1799. https://doi.org/10.1002/jsfa.5548

Sousa-Pereira, R. A., et al. (2008). Germinação e vigor de sementes de cenoura armazenadas em ambiente refrigerado. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1400-1406.

Szeląg-Sikora, A., et al. (2019). Impact of integrated and conventional plant production on selected soil parameters in carrot production. *Sustainability*, 11(20), 5612. https://doi.org/10.3390/su11205612

Vega Rojas, T., et al. (2012). Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional. *Agronomía costarricense*, 36(2), 29-46.

Weaver, K. N. (1980). Field emergence of calabrese and onion seedlings in response to compaction treatments on the soil surface or at seed depth. *Journal of Horticultural Science*, 55(4), 325-332. https://doi.org/10.1080/00221589.1980.11514941

Wilson, C. E., & Thurling, N. (1996). Effect of sowing depth and water potential on seedling emergence of Lupinus species. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 36(4), 463-471. https://doi.org/10.1071/EA9960463

Yang, M., et al. (2024). Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. *Agronomy*, 14(3), 629. https://doi.org/10.3390/agronomy14030629

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DESARROLLO DE UN SUSTRATO COMPOSTABLE A BASE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA ENCAPSULAMIENTO DE DESECHOS FELINOS

Jennifer Rangel Trejo[1]; Alejandro León León[1]; Sergio Arturo García Gutiérrez[2]; J. Guadalupe García Rodriguez[2]

[1]Estudiante del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, [2]Profesor-Investigadro del TecNM/ Instituto Tecnológico de Roque.

RESUMEN

Las arenas para gatos de origen mineral presentan limitaciones ambientales y sanitarias derivadas de procesos mineros y de la generación de partículas finas respirables. El presente trabajo describe el desarrollo, formulación y caracterización funcional de un sustrato ecoamigable elaborado a partir de residuos orgánicos certificados de invernadero, enriquecido con perlita agrícola como componente funcional de encapsulamiento. El sustrato aprovecha la estructura porosa de ambos materiales para retener y encapsular desechos sólidos y líquidos de felinos mediante mecanismos físicos naturales, sin aglutinantes químicos sintéticos. Las evaluaciones preliminares demuestran alta capacidad de absorción de líquidos, neutralización eficaz del pH urinario (6.8–7.2), mínima generación de polvo y control de olores por inhibición microbiana anaerobia. El material es 100% biodegradable, compostable y formulado bajo principios de economía circular que valorizan residuos agrícolas de bajo costo. Los resultados posicionan al sustrato desarrollado como una alternativa técnicamente fundamentada a los materiales convencionales para el manejo de desechos felinos.

Palabras clave: *sustrato compostable, encapsulamiento de residuos, desechos felinos, residuos agrícolas, biodegradabilidad, economía circular.*

INTRODUCCIÓN

El manejo de desechos sólidos y líquidos generados por animales de compañía en entornos domésticos constituye un problema ambiental y sanitario de creciente relevancia. En el caso de los felinos, los materiales utilizados tradicionalmente —principalmente arcillas minerales de bentonita y sílice— son obtenidos mediante procesos de extracción minera de alto impacto ambiental y presentan riesgos documentados para la salud de los animales y las personas que conviven con ellos (Grand View Research, 2023). A pesar de dominar el 88.5% del mercado global en este segmento, estos materiales carecen de propiedades de biodegradación, generan partículas respirables durante su manipulación y no son susceptibles de reintegración al ciclo de materia orgánica.

La exposición crónica al polvo de sílice cristalina —clasificado como carcinógeno del Grupo 1 por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC)— representa un riesgo pulmonar significativo tanto para los felinos como para sus propietarios (IARC, s.f.; Lee & Kim, 2017). Adicionalmente, los compuestos químicos presentes en estos materiales pueden desencadenar cuadros de asma felina, dermatitis alérgica y otras patologías de origen inflamatorio, comprometiendo el bienestar de las mascotas (Smith, 2020). Desde la perspectiva ambiental, la disposición de estos residuos en rellenos sanitarios no permite su degradación y representa un pasivo ecológico de lenta resolución.

Frente a esta problemática, la investigación en sustratos de origen orgánico ha cobrado impulso en los últimos años. Materiales como las virutas de madera reciclada (Ökocat), los granos de maíz procesados (World's Best Cat Litter) o el sustrato de coco (CocoPet) han demostrado la viabilidad técnica de los materiales de origen vegetal para el manejo de desechos felinos, aunque ninguno de ellos aprovecha los residuos generados en sistemas de producción agrícola protegida —invernaderos— como materia prima principal (García & Johnson, 2019; Chen et al., 2016). Los sustratos de invernadero, al término de su ciclo productivo, presentan una estructura físico-química favorable para funciones de retención y encapsulamiento de materia orgánica, y su reutilización representa una oportunidad concreta de valorización bajo los principios de la economía circular.

El presente trabajo tiene como objetivo describir el desarrollo y la caracterización funcional de un sustrato ecoamigable formulado a partir de residuos de invernadero certificados y perlita agrícola, evaluando su capacidad de encapsulamiento y almacenamiento de desechos sólidos y líquidos felinos mediante mecanismos físicos naturales. Se analiza asimismo la viabilidad técnica, normativa y económica del material desarrollado, con énfasis en la región del Bajío mexicano como contexto de aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del sustrato ecoamigable siguió una metodología estructurada en tres fases: (1) selección, caracterización y formulación de las materias primas; (2) evaluación funcional de las propiedades de encapsulamiento, retención y control de desechos; y (3) análisis de viabilidad técnica, normativa y económica para su escalado productivo.

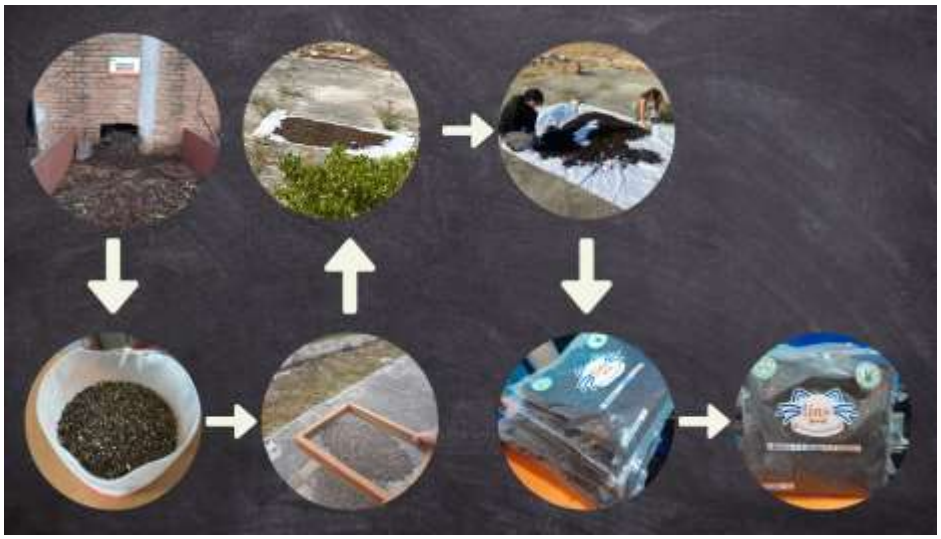


Figura 1. Diagrama del proceso del desarrollo del sustrato.

La materia prima principal del sustrato es el residuo orgánico de invernadero certificado, obtenido en colaboración con ProtoPlanta (San Antonio de Romerillo #38255, Apaseo el Grande, Guanajuato), proveedor con trazabilidad documentada en el manejo de sustratos agrícolas. El material cumple con criterios de ausencia de agentes patógenos, residuos de pesticidas de alta toxicidad y metales pesados, condición indispensable para su aplicación en contextos de contacto con animales domésticos. Su estructura físico-química —rica en materia orgánica parcialmente descompuesta y con elevada porosidad intergranular— le confiere propiedades intrínsecas de retención de humedad y actividad tamponadora del pH.



Figura 2. Residuo orgánico de invernadero certificado en etapa de recepción y preparación para limpieza, previo a su incorporación como materia prima del sustrato ecoamigable.

Como componente funcional complementario se incorporó perlita agrícola, un mineral volcánico expandido de origen natural, ampliamente caracterizado en la literatura especializada por su estructura vesicular abierta, baja densidad, alta porosidad y capacidad de retención hídrica de hasta 3–4 veces su peso en agua. Esta propiedad resulta determinante para el mecanismo de encapsulamiento físico de los desechos líquidos, al crear microambientes de retención que limitan la difusión de compuestos odoríferos hacia el ambiente y restringen el desarrollo de microorganismos anaerobios. La proporción de mezcla entre sustrato de invernadero y perlita fue definida experimentalmente con base en los resultados de absorción y control de pH.

El proceso de formulación del sustrato comprende las siguientes etapas secuenciales: (1) recepción y verificación de la calidad del lote de residuo certificado; (2) mezcla homogénea del sustrato de invernadero con perlita agrícola en proporción definida; (3) acondicionamiento de la mezcla para garantizar la distribución uniforme de la fracción porosa en toda la masa del sustrato; y (4) inspección y control de calidad de cada lote previo a su salida. El proceso es realizado en las instalaciones de ProtoPlanta bajo supervisión técnica del equipo de investigación.



Figura 3. Sustrato de invernadero en proceso de purificación de impurezas tras la etapa de secado, correspondiente a la fase de acondicionamiento de la mezcla previo al control de calidad.

Las propiedades funcionales del sustrato fueron evaluadas mediante las siguientes pruebas: (a) *capacidad de absorción y encapsulamiento de desechos líquidos*, por medio de pruebas realizadas con felinos en tiempo real, para cuantificar la retención volumétrica por unidad de masa de sustrato; (b) *neutralización del pH de los desechos líquidos*, medida con tiras reactivas antes y después de la absorción; (c) *control de emisiones odoríferas*, mediante evaluación sensorial comparativa frente a material convencional de bentonita; y (d) *generación de partículas en suspensión*, evaluada cualitativamente mediante observación directa durante la manipulación del sustrato, comparando la liberación de polvo respecto a materiales minerales de referencia.

La viabilidad normativa fue analizada en función de la NOM-012-ZOO-1993 (modificación 2004) para productos de uso en animales, los estándares EPA para materiales compostables, la normativa OSHA de seguridad

ocupacional y los criterios de certificación USDA Organic y Green Seal. Para la viabilidad de mercado se realizó un estudio mixto en el municipio de Apaseo el Alto, Guanajuato, y sus alrededores, mediante encuestas a dueños de gatos con nivel socioeconómico medio-alto, complementado con datos secundarios de industria (Grand View Research, 2023). La proyección económica se desarrolló para un horizonte de cinco años, con estructura de costos basada en la producción en instalaciones de ProtoPlanta y distribución mixta a través de canales especializados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evaluaciones funcionales preliminares demuestran que la combinación de sustrato de invernadero y perlita agrícola presenta una capacidad de absorción y retención de desechos líquidos superior a la observada en materiales convencionales de bentonita bajo condiciones de laboratorio. El mecanismo de encapsulamiento opera a través de la estructura vesicular abierta de la perlita, que actúa como reservorio físico de la fase líquida del desecho, mientras que la fracción orgánica del sustrato de invernadero contribuye al tamponamiento químico del medio. Esta combinación limita eficazmente la migración de la fracción líquida fuera del volumen de sustrato activo, condición fundamental para el control de olores y la higiene del sistema.

El pH de la solución absorbida registró valores de 6.8 a 7.2, indicando una capacidad tamponadora eficaz del material. Este rango de pH es desfavorable para el desarrollo de bacterias ureolíticas responsables de la hidrólisis de la urea —compuesto mayoritario de la orina felina— y la consecuente liberación de amoniaco, principal responsable del olor característico de los desechos felinos. La inhibición de este proceso a nivel de pH representa, por tanto, el principal mecanismo de control de olores del sustrato, a diferencia de los enmascarantes químicos o aromatizantes artificiales utilizados en materiales convencionales.

En cuanto al almacenamiento de desechos sólidos, la textura granular del sustrato —comparable a la tierra exterior— favorece el recubrimiento natural de las heces mediante el comportamiento instintivo de enterramiento de los felinos, lo que contribuye al encapsulamiento pasivo de los desechos sólidos sin necesidad de aditivos aglomerantes. Este mecanismo fue verificado en pruebas de uso doméstico observadas, donde se registró aceptación inmediata del sustrato por parte de los animales, reduciendo la resistencia comportamental al cambio de material, identificada en la literatura como uno de los principales obstáculos en la adopción de sustratos alternativos (Patel & Brown, 2018).



Figura 3. Prueba de aceptación y uso del sustrato ecoamigable en ejemplares felinos sin exposición previa a materiales de arenero convencional. Se registró adopción inmediata del material, consistente con su textura de origen orgánico.



Figura 4. Prueba de aceptación del sustrato ecoamigable en ejemplares felinos previamente habituados al uso de arenas minerales convencionales. La aceptación observada reduce la resistencia comportamental al cambio de material (Patel & Brown, 2018)

La generación de polvo durante la manipulación del sustrato desarrollado fue cualitativamente nula, en marcado contraste con los materiales de bentonita y sílice, que liberan partículas finas visibles al verter o remover el producto. Esta diferencia tiene implicaciones directas en la seguridad sanitaria del sistema: la sílice cristalina, clasificada como carcinógeno del Grupo 1 por la IARC, genera exposición respiratoria continua tanto para los gatos —que permanecen períodos prolongados en contacto directo con el material y lo ingieren durante el acicalamiento— como para sus propietarios durante el manejo cotidiano del arenero (IARC, s.f.; Lee & Kim, 2017). La ausencia de partículas respirables en el sustrato desarrollado elimina este vector de exposición, constituyendo una ventaja funcional de primer orden frente a los materiales minerales convencionales.

El Cuadro 1 sintetiza la comparación entre el sustrato desarrollado y los principales materiales de referencia disponibles en el mercado, tanto convencionales como de origen orgánico, considerando los atributos funcionales relevantes para el encapsulamiento y almacenamiento de desechos felinos.

Cuadro 1. Comparación funcional del sustrato ecoamigable desarrollado frente a materiales de referencia para el manejo de desechos felinos.

Característica	Sustrato desarrollado	Ökocat	World's Best	CocoPet	Bentonita
Materia prima	Residuo de invernadero certificado	Madera reciclada	Maíz	Coco	Minería de arcilla

Biodegradable	Sí (100%)	Sí	Sí	Sí	No
Origen en residuos agrícolas certificados	Sí	No	No garantizado	Sí	No
Hipoalergénico	Sí	No certificado	No certificado	Sí	No
Mecanismo de encapsulamiento	Físico-poroso (perlita + sustrato)	Absorción fibra	Aglomeración	Absorción fibra	Aglomeración química
Generación de polvo	Nula	Baja	Baja	Baja	Alta
Control de olores	Alto	Medio	Alto	Medio	Bajo

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo y revisión bibliográfica.

El sustrato desarrollado presenta el único perfil que combina origen en residuos agrícolas certificados, mecanismo de encapsulamiento físico-poroso, nula generación de polvo y biodegradabilidad completa. Los materiales de origen vegetal disponibles comercialmente (Ökocat, World's Best, CocoPet) cumplen con el criterio de biodegradabilidad pero no garantizan la procedencia certificada de sus materias primas ni ofrecen un mecanismo de encapsulamiento físico-poroso equivalente al conferido por la combinación sustrato de invernadero–perlita agrícola.

Una de las ventajas diferenciadas del sustrato desarrollado respecto a los materiales minerales convencionales reside en su comportamiento al término del ciclo de uso. Al estar formulado íntegramente con materiales de origen orgánico —sustrato de invernadero y perlita de origen volcánico natural—, el material usado puede incorporarse a procesos de compostaje o biodigestión, reintegrando los nutrientes presentes en los desechos felinos al ciclo de la materia orgánica. Este atributo es consistente con los principios de la economía circular y con los estándares de certificación de materiales compostables de la EPA, en los que el sustrato desarrollado está siendo evaluado para su futura acreditación.

La fracción orgánica del residuo de invernadero, enriquecida con los desechos felinos absorbidos, presenta potencial de uso como enmienda orgánica agrícola tras el proceso de compostaje, cerrando el ciclo de valorización del residuo en el mismo sistema productivo del que proviene la materia prima. Esta posibilidad, objeto de investigación futura, abriría un modelo de gestión circular de residuos agrícolas y domésticos de alta pertinencia para regiones de producción intensiva en invernadero como el Bajío mexicano.

El sustrato formulado se ajusta a los requisitos de la NOM-012-ZOO-1993 (modificación 2004) para productos destinados al contacto con animales. La composición íntegramente orgánica del material es compatible con los estándares EPA para materiales compostables, y la ausencia de pesticidas, patógenos y metales pesados en la materia prima garantizada por ProtoPlanta facilita la trayectoria hacia la certificación USDA Organic y Green Seal como objetivos estratégicos de mediano plazo.

CONCLUSIONES

Se desarrolló y caracterizó un sustrato ecoamigable formulado a partir de residuos orgánicos certificados de invernadero y perlita agrícola, con capacidad demostrada de encapsulamiento y almacenamiento de desechos sólidos y líquidos felinos mediante mecanismos físicos naturales, sin el uso de aglutinantes ni aditivos químicos sintéticos.

Las evaluaciones funcionales preliminares confirman que el sustrato presenta alta capacidad de retención de desechos líquidos, neutralización eficaz del pH urinario que inhibe la actividad ureolítica microbiana, nula generación de partículas respirables durante la manipulación y control de olores por mecanismos físico-químicos naturales.

La ausencia de sílice cristalina y la nula generación de polvo eliminan el principal riesgo sanitario de los materiales convencionales, reduciendo la exposición crónica de felinos y propietarios a partículas clasificadas como carcinógenas por la IARC.

La biodegradabilidad completa del material y su origen en residuos agrícolas valorizados lo posicionan como una solución técnicamente fundamentada bajo los principios de la economía circular, con potencial de integración a cadenas de compostaje al término de su ciclo de uso.

Se proponen la cuantificación rigurosa de la capacidad de encapsulamiento mediante protocolos estandarizados de retención; pruebas de biodegradabilidad según normas ISO 14855 y ASTM D5338; estudios de aceptación controlada con poblaciones felinas más amplias; y la obtención de certificaciones nacionales e internacionales que acrediten el desempeño ambiental del material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chen, Y., Zhang, H., Liu, X., Wang, F. y Zhou, Q. (2016). Biodegradable cat litter: A review of current technologies. Waste Management Research, 30(5), 578–589.

García, M. y Johnson, L. (2019). Biodegradable cat litter: Environmental implications. Ecological Management Journal, 8(2), 67–78.

Grand View Research. (2023). U.S. Cat Litter Products Market size, by product type, 2020-2030. https://www.grandviewresearch.com

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). (2024). Búsqueda de marcas y patentes. https://www.gob.mx/impi

International Agency for Research on Cancer (IARC). (s.f.). IARC Monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans. Organización Mundial de la Salud.

Lee, S. y Kim, H. (2017). Effects of cat litter on indoor air quality: A comparative study. Indoor Environmental Health Journal, 5(1), 89–102.

Patel, R. y Brown, K. (2018). Consumer preferences for eco-friendly pet products: A market analysis. Journal of Consumer Behavior, 22(4), 456–468.

Rodríguez, A. y Martínez, C. (2014). Biodegradable materials for pet waste management: A comprehensive review. Waste Technology Journal, 18(3), 341–355.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2004). NOM-012-ZOO-1993, Especificaciones para la regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. Diario Oficial de la Federación.

Smith, J. (2020). Sustainability in pet care products. Journal of Environmental Science and Technology, 15(3), 123–135.

Thompson, D. y Clark, R. (2015). Environmental impact assessment of cat litter disposal methods. Environmental Management, 25(2), 213–225.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE DIFERENTES FERTILIZANTES ORGÁNICOS EN EL DESARROLLO DEL ROMERO (*Salvia rosmarinus*) EN CAMAS BIOINTENSIVAS PARA USO MEDICINAL

Karina Villalobos Suaste[1]; Davino Pérez Mendoza[2]; José Luis Camargo Orduño[2]

[1]Estudiantes de agronomía TecNM-Roque, [2]Docentes TecNM-Roque. Autor de correspondencia: davino.pm@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue efecto de diferentes fertilizantes orgánicos en el desarrollo del romero (*Salvia rosmarinus*) en camas biointensivas para uso medicinal en sus diferentes etapas de desarrollo vegetativo, se estableció bajo un diseño experimental en bloques al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones dando un total de 16 unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes fertilizantes: Bio Elicitor a base de extracto de algas (*Ascophyllium nodosum*), Soto organic Some -VL,CYTUS y ácidos húmicos y un testigo control. Se evaluó la variable de altura planta con base a los resultados obtenidos se pudo observar que el mejor tratamiento fue el testigo. El análisis de datos se realizó con el programa estadístico SAS versión 9.4.

Palabras clave: *Romero, orgánicos, biointensivas, medicinal*

This research study investigated the effect of different organic fertilizers on the development of rosemary (Salvia rosmarinus) in biointensive beds for medicinal use during its various vegetative growth stages. The study employed a randomized complete block design with four treatments and four replicates, for a total of 16 experimental units. The evaluated treatments were the following fertilizers: Bio Elicitor based on seaweed extract (Ascophyllum nodosum), Soto Organic Some-VL, CYTUS, and humic acids, along with a control. Plant height was evaluated, and the results showed that the control treatment performed best. Data analysis was performed using the statistical software SAS version 9.4.

Keywords: *Rosemary, organic, biointensive, medicinal*

INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto de las plantas medicinales, se destaca la familia lamiaceae, sexta de las plantas aromáticas, más abundante y una de las más extensas dentro de las dicotiledóneas, la cual posee una elevada popularidad por el potencial aromático de la mayoría de sus especies. Dentro de la familia Lamiaceae destaca la importancia de los géneros Rosmarinus, que contiene las siguientes especies: R. laxiflorus, R. eriocalyx, R. tomentosus, R.

lavandulaceus y R. officinalis, siendo esta última la más utilizada, gracias a que sus metabolitos secundarios se encuentran en casi todas las partes de la planta, mostrando éstas una gran variedad de actividades biológicas benéficas (Flores-Villa *et al*., 2021).

La producción de romero (*Salvia rosmarinus*) en México es un sector significativo de la agricultura de las plantas aromáticas, con una producción anual de casi 324 toneladas. Los estados productores destacados son el Estado de México y Baja California, que aportan el 90 y 10 por ciento del total nacional respectivamente, el romero es valorado tanto por su uso en la cocina. Los principales productores de hierbas aromáticas de exportación que cumplen con los protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas o Certificación orgánica son los estados de Morelos, Baja California Sur, Baja California, Estado de México, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala (Morales-Santarosa *et al*., 2025).

El romero es un arbusto perenne que crece a lo largo del mar Mediterráneo y en zonas subhimalayas. En la medicina popular, se ha utilizado como antiespasmódico y analgésico suave para tratar la neuralgia intercostal, las cefaleas, la migraña, el insomio, los trastornos emocionales y la depresión. Diversas investigaciones han destacado las propiedades neurofarmacológicas del romero como sus principales temas. El romero posee importantes propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes, antiapoptóticas,antitumorígenas, antinociceptivas y neuroprotectoras. Además, muestra importantes efectos clínicos sobre el estado de ánimo, en el aprendizaje, la memoria, el dolor, la ansiedad y el sueño (Ghasemzadeh-Hosseinzadeh, 2020).

Los fertilizantes orgánicos, también denominados abonos orgánicos, son productos procedentes de fuentes naturales y contienen, como mínimo, un nutriente esencial para alimentar las plantas. De ahí que estos productos sean una subcategoría dentro de los fertilizantes naturales. Algunos ejemplos de fertilizantes totalmente orgánicos son el compost, el estiércol y la roca en polvo. Para que las plantas puedan asimilar los nutrientes presentes en los abonos naturales, los microbios del suelo deben transformar dichos nutrientes de una forma no asimilable a otra biodisponible. El resultado es una liberación de nutrientes más lenta que la habitual de los productos inorgánicos, así como una mayor calidad del suelo gracias a la inclusión de materia orgánica.

Los fertilizantes orgánicos son materiales naturales que pueden proceder de procesos bioquímicos naturales, a diferencia de los inorgánicos, que son materiales de origen sintético. Aunque el uso de productos fertilizantes sintéticos aumenta enormemente el rendimiento de los cultivos durante los primeros compases, el resultado a pagar tiene un alto precio a largo plazo. Con el tiempo, la gran dependencia de estos productos químicos hace mella en la fertilidad del suelo. Como resultado de esto, los agricultores comienzan a utilizar aún más cantidad

para compensar, creando una espiral de deterioro de la que es difícil salir. A medida que cada vez más agricultores conocen este efecto de la fertilización con productos sintéticos, el uso de fertilizantes naturales como complemento o única fuente de nutrientes crece para ayudar a que la fertilidad del suelo vaya gradualmente en aumento (Cherlinka, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se inicio con la preparación del suelo en donde realizando excavaciones de 15 cm de profundidad con una separación de 30 cm entre cada uno, en el cual son 4 camas donde se estableció el experimento, posteriormente se realizó el trasplante colocando una planta por cada excavación, una vez colocada la planta se presionó la parte correspondiente al sistema radicular, con la finalidad sacar el aire y de esta manera evitar problemas de enfermedades por una mala oxigenación. Las aplicaciones de los riegos se iniciaron inmediatamente al término del trasplante, los cuales en los riegos posteriores se aplicaron cada tercer día. La aplicación de los tratamientos se inició después de un mes, donde se se tomaron datos de altura de plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base a los resultados, podemos observar que no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, para ninguna de las fechas muestreadas, sin embargo, el tratamiento 1Testigo presentó los mejores valores promedio desde el día 19 de febrero, hasta el día 24 de abril, con valores medios más altos de 30.40, 31.00, 34.80, 37.00 y 399.00 cm respectivamente. Con los valores medios más bajos el tratamiento 2 soto organic, con valores medios de 23.80, 23.80, 26.50, 29.20 y 33.20 cm, respectivamente.

Cuadro 1. Comparación de medias de la variable altura de planta del cultivo del Romero.

Trat	AlPta19Feb	AlPta06Mar	AlPta25Mar	AlPta13Abr	AlPta24Abr
1	30.40 a	31.00 a	34.80 a	37.00 a	39.00 a
3	26.20 a	27.10 a	30.00 a	34.00 a	36.60 a
4	24.60 a	25.80 a	28.20 a	31.00 a	33.80 a
2	23.80 a	23.80 a	26.50 a	29.20 a	33.20 a

Trat. = Tratamiento, AlPta = Altura de Planta, Feb. = Febrero, Mar. = Marzo, Abr. = Abril, Letras iguales en el mismo grupo estadístico no presentan diferencias significativas

En un trabajo de investigación, donde se evaluó el Empleo de abonos orgánicos en el crecimiento de planta de romero (Salvia rosmarinus Spenn), se observó que en la altura de planta el tratamiento 4 (Lixiviado de guano) presentó los valores promedios más altos con una media de 47.33, mientras que el valor promedio más bajo fue en el tratamiento 2 (testigo) con un valor de 29.50 cm. Estos valores son similares a los presentados en la presente investigación (Morales-Santarosa et al., 2025).

CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación los resultados obtenidos en la variable altura de planta del cultivo de romero, se concluye que los tratamientos evaluados no presentaron diferencias significativas durante las fechas de muestreo, lo que indica que estadísticamente los tratamientos tuvieron un comportamiento similar en el crecimiento de las plantas.

Sin embargo, de manera numérica el tratamiento 1 (testigo) mostró los valores promedio más altos de altura de planta a lo largo de todo el periodo de evaluación, alcanzando 39 cm al finalizar el experimento, lo que refleja un mejor desarrollo vegetativo en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento 2 (Soto Organic) presentó los valores promedio más bajos en todas las fechas evaluadas, obteniendo una altura final de 33.20 cm.

En general, aunque los tratamientos aplicados no lograron generar diferencias estadísticas en el crecimiento del cultivo, sí se observaron variaciones numéricas entre ellos, destacando el tratamiento testigo como el de mejor respuesta en altura de planta del romero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Flores-Villa et al. (05 de Marzo de 2021). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2020000100212

Ghasemzadeh-Hosseinzadeh. (29 de Abril de 2020). Revista Iraní de Ciencias Médicas Básicas. Obtenido de https://greensapiens.com/wp-content/uploads/2025/07/IJBMS-23-1100-ES.pdf

Morales-Santarosa et al. (30 de Noviembre de 2025). Revista Tecnológica CEA. Obtenido de https://www.revistatecnologicacea.mx/revistas/revista31.pdf

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE FERTILIZACION FOLIAR ORGÁNICA DE TOMATE TIPO SALADETTE (Palermo F1) EN INVERNADERO

Davino Pérez Mendoza[1§]; Erila Moreno Alberto[2]; Raúl Rene Robles Lacayo[2]; Lorenzo Licea Rojas[1]; J. Guadalupe García Rodríguez[1]; Juan Pablo González Morales[1]

[1]Docentes del TecNM/ITR, Celaya, Gto.; [2]Estudiante de Agronomía del TecNM/ITR, Celaya, Gto, [§]Autor de correspondencia: davino.pm@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el Evaluar el efecto de la fertilización foliar orgánica sobre el crecimiento vegetativo, el rendimiento y la calidad del tomate tipo Saladette (Palermo F1) cultivado bajo condiciones de invernadero. El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones dando un total de 25 unidades experimentales. Los tratamientos aplicados fueron; Tratamiento 1 (testigo o control con agua), el Tratamiento 2 (Guano de murciélago) y el Tratamiento 3 (Algas marinas), las variables evaluadas fueron Altura de planta, grados brix, número de frutos, número de racimos, peso de frutos y rendimiento total. Con base a los resultados obtenidos se pudo determinar que el mejor tratamiento fue el Tratamiento 2 (Guano de murciélago) presento los valores medios más altos a los 68, 71 y 80 ddt con valores de 1.76, 4.05 y 5.88 m, respectivamente en altura de planta, siendo esta una de las variables a evaluar en la investigación de igual manera se evaluó, peso del futo, grados brix y número de racimos por planta el análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS versión 9.4.

Palabras clave: *Efecto, fertilización, orgánica, Variedad, invernadero*

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of organic foliar fertilization on the vegetative growth, yield, and quality of Saladette-type tomato (Palermo F1) grown under greenhouse conditions. The experiment was established under a completely randomized experimental design with five treatments and five replications, giving a total of 25 experimental units. The applied treatments were; Treatment 1 (control with water), Treatment 2 (Bat guano) and Treatment 3 (Seaweed), the evaluated variables were Plant height, degrees Brix, number of fruits, number of clusters, fruit weight and total yield. Based on the results obtained, it was determined that the best treatment was Treatment 2 (Bat Guano), which presented the highest mean values at 68, 71, and 80 DDT with values of 1.76, 4.05, and 5.88 m, respectively, in plant height, this being one of the variables evaluated in

the research. Similarly, fruit weight, degrees Brix, and number of clusters per plant were evaluated. The statistical analysis was carried out with the SAS statistical package version 9.4.

Keywords: *Effect, fertilization, organic, Variety, greenhouse*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial por su volumen de producción, valor económico y aporte nutricional. La producción global supera los 180 millones de toneladas anuales, siendo China, India, Turquía, Estados Unidos y México los principales productores (FAO, 2022). En México, el tomate representa uno de los cultivos de mayor relevancia para la exportación, particularmente el tipo saladet destinado al mercado fresco de Estados Unidos y Canadá (Castillo, 2022).

En este contexto, la fertilización foliar orgánica emerge como una herramienta prometedora. Al aplicarse directamente sobre el follaje, los productos orgánicos (basados en aminoácidos, extractos de algas marinas, ácidos húmicos y fúlvicos, humus o microorganismos benéficos) facilitan una absorción rápida y eficiente de nutrientes a través de los estomas y cutícula foliar, corrigen deficiencias de manera puntual y reducen significativamente el riesgo de contaminación edáfica y acuífera. Diversos estudios científicos respaldan los beneficios de este enfoque. (Pérez, 2017), por ejemplo, evaluaron el efecto de fertilizantes foliares en tomate cultivado en hidroponía bajo invernadero y observaron incrementos significativos en rendimiento, contenido de sólidos solubles (°Brix), licopeno y potasio en el fruto, especialmente con formulaciones ricas en K^+. De igual forma, (Marquez-Hernández, 2013), compararon fuentes orgánicas de fertilización en tomate de invernadero y reportaron rendimientos hasta 37 % superiores al testigo, junto con mejoras en altura de planta y calidad organoléptica, sin diferencias negativas respecto a tratamientos inorgánicos. La producción en invernadero ha adquirido gran importancia en el país porque permite mayor control de condiciones ambientales, ciclos más largos, rendimientos superiores (frecuentemente entre 200-300 t/ha en sistemas tecnificados) y mejor calidad del fruto respecto al cultivo a cielo abierto.

El tomate tipo saladette, de fruto alargado y firme, es altamente demandado por su excelente durabilidad en postcosecha. 11 El híbrido Palermo F1 (Vilmorin) es un tomate saladette indeterminado de vigor medio, buen cuajado, alto rendimiento potencial y adaptabilidad a ciclos semilargos en invernadero, características que lo hacen atractivo para productores mexicanos (Vilmorin Mikado, s.f.; descripciones comerciales técnicas). La nutrición es un factor determinante en el rendimiento y calidad del tomate. Aunque la fertirrigación constituye la base del programa nutricional, la fertilización foliar complementaria permite una absorción rápida de nutrientes,

corrigiendo deficiencias, mejorando la eficiencia de uso de nutrientes y estimulando procesos fisiológicos como floración, cuajado y llenado de frutos. Esto resulta especialmente útil en invernadero, donde pueden presentarse limitaciones radiculares o estrés por densidad de siembra y temperatura (Pérez et al., 2017).

En los últimos años ha crecido el interés por fertilizantes foliares de origen orgánico (extractos de algas, bioles, purines de lombricompost, humus líquido, biofermentos, etc.). Estos productos aportan no solo macro y micronutrientes, sino también compuestos bioactivos como ácidos húmicos y fúlvicos, aminoácidos, hormonas naturales y microorganismos benéficos que mejoran la salud planta-suelo, la resistencia a estrés y la calidad del fruto (Rodríguez, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

EL experimento se realizó en uno de los invernaderos experimentales del Tecnológico Nacional de México, campus Roque (ITR) que se encuentra ubicado en la Carretera Celaya - Juventino Rosas, kilómetro 8, Rancho o Ranchería Roque (ITA), C.P. 38124, en Celaya, Guanajuato, México. Es conocido coloquialmente como "La Escuela de Roque" y se encuentra a unos 6 km de la cabecera municipal de Celaya.

El proyecto se llevó acabo en un invernadero destinado a la investigación. El cual se localiza cerca de parcelas destinadas al mismo fin, el invernadero cuenta con 24 m de largo y 10 de ancho, dando un total de 24 m^2 de superficie, cuenta con arcos metálicos galvanizados y con una cubierta con plástico de polietileno traslucido calibre de 800 galgas, la cual permite una adecuada distribución de la radiación solar dentro del invernadero, tiene un sistema de riego de 5 líneas las cuales permite conectar cintilla de goteo.

En primer lugar, se aflojó la tierra con herramientas manuales para mejorar su estructura y aireación, y se dejó en reposo durante dos días con el fin de permitir la 22 estabilización física del sustrato. Posteriormente, se conformaron cinco camas de cultivo, cada una con dimensiones de 10 m de largo por 40 cm de ancho. En cada cama se instalaron cintas de riego por goteo para garantizar un suministro uniforme de agua y nutrientes. De manera paralela, se realizó la limpieza exhaustiva de los tinacos de almacenamiento de agua utilizados para la preparación de las soluciones de fertilización foliar. Este procedimiento aseguró condiciones homogéneas de suelo en todas las unidades experimentales, favoreciendo el establecimiento adecuado de las plantas de tomate tipo Saladette (Palermo F1) bajo condiciones de invernadero.

El trasplante se realizó de manera manual el día 4 de noviembre de 2024. Las plantas, previamente sembradas en charolas de poliestireno expandido y mantenidas en el vivero hasta alcanzar el estado de 4-5 hojas

verdaderas, fueron colocadas en las camas de cultivo preparadas, respetando la separación de 20 cm entre plantas dentro de cada cama. Esta operación se efectuó con cuidado para evitar daños en el sistema radicular, asegurando un buen contacto entre las raíces y el suelo. Inmediatamente después del trasplante se aplicó riego por goteo para favorecer el prendimiento y reducir el estrés hídrico de las plántulas.

El riego por goteo es la técnica estándar en jitomate protegido, con goteros espaciados a 30-40 cm y caudal de 1.5-2.5 L/h por emisor. Las necesidades hídricas varían según etapa fenológica: 2-4 mm/día en plántula, 4-6 mm en vegetativo y hasta 6-8 mm en fructificación plena, ajustadas por evapotranspiración. La fertirrigación permite aplicar nutrientes disueltos directamente a la raíz, evitando estrés hídrico que causa caída de flores, frutos pequeños o pudriciones. Se recomienda mantener el suelo en capacidad de campo (sin encharcar) y monitorear pH de la solución (5.5-6.5) para óptima absorción. En regiones áridas mexicanas, 23 esta práctica ahorra hasta 70 % de agua comparado con riego por gravedad, promoviendo eficiencia y sostenibilidad. La fertilización foliar se evaluó mediante tres tratamientos aplicados al cultivo de tomate tipo Saladette (Palermo F1) bajo condiciones de invernadero. Cada unidad experimental correspondió a una cama de plantas con separación de 20 cm entre plantas.

La concentración de sólidos solubles totales se cuantificó utilizando un refractómetro digital portátil. Se extrajo una muestra alícuota de jugo de tres frutos al azar por cada tratamiento; previo a cada lectura, el equipo fue calibrado con agua destilada a una temperatura de 20°C. Se realizó un conteo manual directo de todos los racimos producidos por planta que alcanzaron el estado de madurez fisiológica. No se contabilizaron aquellos racimos que presentaron aborto floral o daños mecánicos significativos. Se obtuvo realizando el conteo individual de los frutos presentes en cada racimo evaluado. Posteriormente, se calculó el promedio aritmético por planta para determinar la capacidad de cuajado de la variedad bajo estudio. La medición se efectuó desde la base del tallo, a nivel del sustrato, hasta el meristemo apical de la planta. Para esta labor se utilizó una cinta métrica graduada en milímetros, realizando las mediciones en intervalos quincenales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos podemos observar que a los 68 ddt no hubo diferencias significativas, pero si a los 71 y 80 ddt, sin embargo, el tratamiento 2 Guano de murciélago, presentó los valores medios más altos a los 68, 71 y 80 ddt con valores de 1.76, 4.05 y 5.88 m, respectivamente. Los valores medios más bajos los presentó el tratamiento 1 Control (agua), con valores medios de 1.68, 3.48 y 3.12 m respectivamente.

Cuadro 1. Comparación de medias de la variable altura de planta (AlPta) del cultivo de tomate saladette en invernadero ciclo productivo otoño-invierno ITRoque, 2025.

Trat.	AlPta68ddt (m)	Trat.	AlPta71ddt (m)	Trat.	AlPta80ddt (m)

2	1.76 a	2	4.06 a	2	5.88 a
3	1.72 a	3	3.39 b	3	4.54 b
1	1.68 a	1	2.48 c	1	3.12 c

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, Trat. = Tratamiento, AlPta = Altura de Plantas, ddt = días despues de trasplante

De acuerdo con Tovar (2026). Menciona en su investigación Efecto de la Aplicación foliar de Fosfonato de potasio en tomate saladette (*Solanum lycopericum* L.) en invernadero que obtuvo medias de 170.37 cm como un máximo y 154.74 cm como mínimo. Estos valores son inferiores a los obtenido en esta investigación.

De acuerdo a los datos obtenidos podemos observar que a los 58 ddt si hubo diferencias significativas, pero no a los 68, 71 y 80 ddt, sin embargo, el tratamiento 2 Guano de murciélago presento los valores medios más altos de los 58 a los 80 ddt con valores de 5.88, 7.65, 7.65 y 7.60 grados brix, respectivamente. Los valores medios más bajos los presento el tratamiento 1 Control (Agua), con valores medios de 3.63. 7.00, 6.98 y 6.98 m respectivamente, del día 58 al 80 ddt.

Cuadro 2. Comparación de medias de la variable grados brix (GrBx) del cultivo de tomate saladette en invernadero ciclo productivo otoño-invierno ITRoque, 2025.

Trat	GrBx58ddt	Trat	GrBx68ddt	Trat	GrBx71ddt	Trat	GrBx80ddt
2	5.88 a	2	7.65 a	2	7.65 a	2	7.60 a
3	4.57 b	3	7.15 a	3	7.15 a	3	7.12 a
1	3.63 c	1	7.00 a	1	6.98 a	1	6.98 a

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, Trat. = Tratamiento, GrBx = Grados brix, ddt = días despues de trasplante

Chávez (2025) menciona en una investigación donde se evaluo la “Aplicación Foliar de algas marinas de tomate saladette (Solanum lycopersicum L.) en invernadero con fertirriego”, se obtuvieron medias de 3.46 Grados brix como máxima y 2.93 Grados brix como mínimas. Estos resultados no son similares a los obtenidos en la investigación realizada.

De acuerdo a los datos obtenidos podemos observar que a los 58 y 68 ddt no hubo diferencias significativas, pero si a los 71 y 80 ddt, sin embargo, el tratamiento 2 Guano de murciélago presento los valores medios más altos a los 71 y 80 ddt con valores de 7.64, 766.44, 1422.9 y 1503 kg, respectivamente. Los valores medios más bajos los presento el tratamiento 3 Algas marinas Mar y Tierra, con valores medios de 3.63. 7.00, 6.98 y 6.98 m respectivamente, del día 58 al 80 ddt.

Cuadro 3. Comparación de medias de la variable peso de fruto (PsFr) del cultivo de tomate saladette en invernadero ciclo productivo otoño-invierno ITRoque, 2025.

Trat	PsFr58ddt	Trat	PsFr68ddt	Trat	PsFr71ddt	Trat	PsFr80ddt
2	7.64a	2	766.44a	2	1422.9a	2	1503.5a
1	7.16a	1	718.98a	3	1183.5ba	1	1000.0b
3	7.10a	3	709.42a	1	919.3b	3	972.6b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, Trat. = Tratamiento, PsFr=peso por futo, ddt = días después de trasplante

Jordan y Ruiz (2026) En un a investigación donde se evaluó el efecto de fertilización foliar y drench con micronutrientes quelatodos en tomate saladette (Solanum lycopersicum L.) en invernadero en base a los resultados que obtuvo la investigación muestra una media 3593.8 g por lo tanto este valor está por arriba de la media obtenida en la presen te investigación.

De acuerdo a los datos obtenidos podemos observar que a los 68 y 71 ddt no hubo diferencias significativas, pero si a los 58 y 80 ddt, sin embargo, el tratamiento 2 Guano de murciélago presento los valores medios más altos de los 58 a los 80 ddt, con valores de 5.90, 1.40, 1.55 y 1.68 racimos, respectivamente. Los valores medios más bajos los presento el tratamiento 1 Control (Agua) de los 58 a los 80 ddt, con valores medios de 3.25, 1.22, 1.26 y 1.00 racimos, respectivamente. Cuadro 9. Comportamiento de medias de la variable número de racimos (NrRc) del cultivo de tomate saladette en invernadero ciclo otoño invierno ITRoque del 2025,

Cuadro 4. Comportamiento de medias de la variable número de racimos (NrRc) del cultivo de tomate saladette en invernadero ciclo otoño invierno ITRoque.del 2025,

Trat	NrRc58ddt	Trat	NrRc68ddt	Trat	NrRc71ddt	Trat	NrRc80ddt
2	5.90 a	2	1.40 a	2	1.55 a	2	1.68 a
3	5.60 a	3	1.33 a	3	1.51 a	3	1.32 ab
1	3.25 b	1	1.22 a	1	1.26 a	1	1.00 b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, Trat. = Tratamiento, NrRc=número de racimos, ddt = días despues de trasplante.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la aplicación foliar de extracto de guano de murciélago (Tratamiento 2) optimiza de manera más efectiva el vigor vegetativo y los parámetros de calidad del fruto en el tomate tipo Saladette (Palermo F1) cultivado bajo condiciones de invernadero en Celaya, Guanajuato. Este tratamiento se consolidó como la alternativa orgánica más eficiente, superando estadísticamente al testigo (Tratamiento 1) y, en varios indicadores clave, al tratamiento con extracto de algas marinas Mar y Tierra.

Específicamente, el extracto líquido de guano de murciélago promovió un mayor crecimiento vertical (altura de planta), un mayor diámetro de tallo y una mejor acumulación de sólidos solubles totales (°Brix) en el fruto, características altamente valoradas en el mercado por su relación con el sabor, la calidad organoléptica y la vida de anaquel. Estos resultados confirman que el guano de murciélago, gracias a su alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y compuestos orgánicos bioactivos, ejerce un efecto positivo tanto en el desarrollo vegetativo como en la calidad nutricional del tomate, sin comprometer el rendimiento.

Desde el punto de vista práctico, el uso de fertilización foliar orgánica con guano de murciélago representa una opción viable y sostenible para los productores de tomate en invernadero. Permite reducir la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos, disminuir los riesgos de salinización de sustratos y lixiviación de nutrientes, y responder a la creciente demanda de productos orgánicos y libres de residuos en mercados nacionales e internacionales. Los hallazgos de este estudio contribuyen al conocimiento agronómico al generar información local y específica sobre el comportamiento del híbrido Palermo F1 bajo tres tratamientos de fertilización foliar orgánica. Además, refuerzan la viabilidad de prácticas más ecológicas en la agricultura protegida, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2, 12 y 13) relacionados con la seguridad alimentaria, el consumo y la producción responsables y la acción por el clima. No obstante, se recomienda realizar estudios 34 complementarios que evalúen el efecto de estos tratamientos en diferentes ciclos de cultivo, bajo distintas densidades de plantación y combinados con otras prácticas de manejo (como biofertilizantes o micorrizas), con el fin de validar su consistencia a lo largo del tiempo y en otras regiones del país.

En conclusión, la fertilización foliar con extracto de guano de murciélago surge como una herramienta efectiva y recomendable para mejorar la productividad y calidad del tomate Saladette (Palermo F1) de forma sostenible, representando una alternativa real y económicamente viable para los productores que buscan transitar hacia sistemas de producción más amigables con el medio ambiente sin sacrificar el rendimiento y la calidad comercial del fruto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chávez. (2025). Aplicasion foliar de algas marinas en tomate saladette (solanum lycopersicum L.). celaya: TecNM/Roque.

Jordan Tapia, B. Y., & Ruiz Delgado , I. M. (2026). Efecto de fertilizacion foliar y drench con micronutrientes quelatos en tomate saladette (solanum lycopersicum L.) en invenadero. CELAYA: TecNM/roque.

Marquez-Hernández. (2013). Obtenido de adfsgsghgjgfjj

Tovar. (2026). Efecto de la aplicaion foliar de fosfonato de potacio en toate saladette (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. celaya: TecNM/Roque .

Y., W. X. (2020). eaweed extract improved yields, leaf photosynthesis, ripening time, and net returns of tomato (Solanum lycopersicum Mill.). ACS Omega, 5(8), 4242–4249. . Obtenido de eaweed extract improved yields, leaf photosynthesis, ripening time, and net returns of tomato (Solanum lycopersicum Mill.). ACS Omega, 5(8), 4242–4249.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE MAÍZ CÓNICO NORTEÑO BLANCO EN DOS FECHAS DE COLECTA

Francisco Chablé Moreno[2]; Felipe de Jesús Pérez León[1]; J. Guadalupe García Rodríguez[2]; Ramiro Puga Ayala[4]; Ernesto Preciado Ortíz[3]; José Augusto Roberto Dorantes González[3]; Brayant A. Chablé Salinas[1]

[1]Docente-Investigador del TecNM-Roque, [1]Estudiantes de Agronomía de TecNM-Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, Celaya, México, [4]Investigador del ITESHU, [3]Investigadores del INIFAP Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, México, Investigadores del INIFAP-CAEB, Celaya, Guanajuato. Email de correspondencia: francisco.cm@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El maíz nativo de la raza cónico norteño se distingue por cultivarse en altitudes superiores a los 2400 msnm. Posee tolerancia a la sequía y escasez de agua en temporales irregulares, las siembras de semillas se realizan en marzo donde se mantienen vivas en el terreno de cultivo hasta las primeras lluvias en junio, momento en el que las plantas se desarrollan con rapidez. Aunque en ocasiones su producción puede ser limitada, este maíz logra ofrecer un rendimiento notablemente superior en comparación a otros materiales que se cultiven bajo las mismas condiciones, donde difícilmente alcanzarían a sobrevivir. Las dos colectas de las poblaciones, fueron sembradas en febrero del 2025, y su cosecha el 30 de agosto del mismo año. Las muestras fueron colectadas y se evaluaron las características productivas tales como: el número de mazorca por planta, longitud de mazorca, número de hileras, granos por hileras, diámetro de la mazorca, peso del olote, peso de 100 granos y peso de mazorca, asimismo se realizó la estimación de rendimiento de grano. Los datos muestreados fueron evaluados mediante un ANAVA, con el paquete estadístico SAS (v 9.1) y se aplicó una prueba de comparación de medias (Tukey α 0.05). El ANAVA arrojó diferencias estadísticas altamente significativa entre tratamientos ($P \leq 0.01$), la comparación de medias (Tukey α 0.05) mostró que tas semillas grandes provenientes de cultivo del ambiente de Celaya y Apaseo el Alto, presentaron mayor peso de mazorca, peso de 100 granos y rendimiento estimado entre 3.4 a 3.9 tha^{-1}.

Palabras clave: maíz, raza cónico norteño, rendimiento estimado

ABSTRACT

The native maize of the Northern Conical race is distinguished by its cultivation at altitudes above 2000 meters above sea level. It exhibits tolerance to drought and water scarcity in irregular rainy seasons. Seeds are sown in March and kept alive in the field until the first rains in June, at which point the plants develop rapidly. Although its production can sometimes be limited, this maize achieves a significantly higher yield compared to other

varieties grown under the same conditions, where they would struggle to survive. The populations in Celaya were established in February 2025, and harvested on August 30 of the same year. Samples were collected, and productive characteristics such as the number of ears per plant, ear length, number of rows, kernels per row, ear diameter, cob weight, weight of 100 kernels, and ear weight were evaluated. Grain yield was also estimated. The sampled data were evaluated using an ANOVA with the SAS statistical package (v 9.1), and a Tukey's test (α 0.05) was applied. The ANOVA showed highly significant statistical differences between treatments ($P \leq 0.01$). The Tukey's test (α 0.05) showed that large seeds from cultivation in the Celaya and Apaseo el Alto areas had greater ear weight, 100-kernel weight, and estimated yield between 3.4 and 3.9 t^{-1}.

Keywords: maize, northern conical race, estimated yield

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo de alta importancia a nivel mundial dado los distintos usos que se le da en alimentación humana, en la ganadería y al ser un ingrediente básico en la industria del sector alimentario (Fernández *et al*., 2013; Cuevas, 2014; Urango, 2018). El consumo *per cápita* de maíz en México es de 196.4 kg, lo que representa el 20.9 % del gasto total de alimentos (SAGARPA, 2017). De modo que resulta prioritario asegurar los niveles suficientes de producción de grano para cubrir el consumo diario del mismo.

Según un reporte de la SADER en 2019 el 60% de la producción nacional de maíz viene de parte de los productores a pequeña escala, esto sumado a los medianos productores conforman el 91% de la superficie sembrada y un 75% de la producción total en todo el país. Así mismo en 2024 la producción de maíz grano en México produjo un total de 24 326 508 toneladas; cantidad calculada con datos de 6 568 035 hectáreas cosechadas, por lo que el rendimiento promedio nacional quedó en 3.7 toneladas por hectárea representando una variación en decremento del 11.7% en comparación al año anterior (2023) y su valor mínimo en la última década.

En estimaciones de la SADER y SIAP la importación de maíz para el 2025 tendrá una tendencia a elevarse debido al crecimiento que presentó durante el periodo de 2023/2024. La volatilidad climática, con temporadas de sequía prolongada y precipitaciones irregulares, ha acentuado la brecha entre la demanda interna y la oferta local de maíz. Mientras que las zonas de riego han mantenido rendimientos superiores a 5 tha^{-1}, más del 70 % de la superficie dedicada al cultivo sigue operando bajo temporal y promedia apenas 3.5 tha^{-1}. Este contraste subraya la urgencia de identificar y promover germoplasmas capaces de mantener altos promedios bajo estrés hídrico. Sin embargo, el cultivo de maíz blanco de la raza cónico norteño en la región de Xichú, los rendimientos son competitivos, aunque existen datos promedios de evaluaciones desde 500 kg hasta 1.5 tha^{-1}, en años

críticos o de temporal tardío los custodios de maíces nativos, sus rendimientos son escasos y puede alcanzar de 40 hasta los 500 kgha^{-1}.

En este contexto, las razas nativas de maíz adquieren un valor estratégico por su adaptación milenaria a condiciones adversas. La raza Cónico Norteño, distribuida principalmente en el altiplano semiárido del centro-norte de México, destaca por su resistencia a la sequía y su rendimiento competitivo en terrenos de temporal. El presente estudio se propone evaluar las características agronómicas y productivos de dos poblaciones en dos fechas de colectas de maíz blanco de la raza cónico norteño.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Roque ubicado en Carretera, Juventino Rosas – Celaya Km.8, en el municipio de Celaya, Guanajuato (20.580361° N, 100.827144° W.) a una altura aproximada de 1,765 msnm durante el ciclo Invierno-primavera de 2025. Esta área experimental presenta una temperatura promedio anual de 18.3 °C y una precipitación anual promedio de 689 mm con un suelo predominantemente del tipo arcilloso, esto según datos del INEGI e información de la red de estaciones agroclimáticas de la fundación Guanajuato produce.

Para este ensayo se utilizó maíz nativo de la raza cónico norteño, los cuales resultaron de dos colectas en periodos distintos: La colecta donada por el Dr. Ernesto Preciado del Banco de Germoplasma del (INIFAP-CAEB, Celaya) e identificado como EPO-012, EPO-056 y EPO-068 durante el año de 2009, los cuales corresponden a los estados de Guanajuato y Michoacán. El EPO-012 colectado en el 2009 en la comunidad de Landín con ubicación geográfica (20º 46’ 13’’ LN y 100º 54’ 12’’ LW) en el municipio de Comonfort, a una altura de 1944 msnm, la muestra EPO-056 colectada en la comunidad de El Zúñiga del municipio de Juventino Rosas con ubicación geográfica de (20º 41’ 50’’ LN y 100º 59’ 31’’) a una altitud de donde 1822 msnm, y la colecta EPO-068 de la comunidad Epitacio Huerta, Cuartel el Bellotal II, Michoacán con coordenadas geográficas (20º 10’ 00’’ y 100º 14’ 07’’ LW) a una altitud de 2592. La selección de maíz de la raza cónico norteño de la región de Xichú se obtuvieron 18 muestras y la colecta evaluada fue de la comunidad de Las Casitas de la Sra. Asela Velázquez Alvarado con coordenadas geográficas (21.3115569 y -100.120924) del Ejido Puerto de Pilón en el municipio de Xichú en el estado de Guanajuato, colectada en el 2023, las cuales se establecieron en dos ambientes en Celaya a 1765 msnm en el TecNM-Roque y en Apaseo el Alto en la extensión del TecNM-Roque a una altura de 2043 msnm, ambos siembras con la finalidad de ir estableciendo condiciones de adaptación a los ambientes señalados.

La preparación del terreno se llevó de acuerdo con la información señalada por agenda Técnica Agrícola de Guanajuato (SAGARPA, 2017). La siembra se estableció el 17 de febrero (I-P, 2025). La fertilización fue al momento de la siembra (120 - 40 – 00), como fuente de nitrógeno se empleó urea realizando la primera aplicación del 50% a siembra y de P hidrosoluble MAP (12-61-00), la segunda aplicación fue el 50 % de N, la cosecha se realizó en agosto del 2025. El control de maleza se realizó a los 18 días después de la siembra del maíz, con el herbicida selectivo Sansón® (i.a. Nicosulfuron:2-(4,6-dimetoxipirimidin-2-ilcarbomoilsulfamoil)-N, Ndimetilnicotinamida) 1 Lha^{-1}, la segunda aplicación fue con el herbicida Diquat® (9,10-dihidro-8a, 10a-diazoniafenantrénico dibromuro). Para el control de Trips y Gusano cogollero se aplicó Malatión® (dietil (dimetoxitiofosforiltio) succinato) 1 Lha^{1} y dos aplicaciones con Lorsban granulado al 3% (i.a. Clorpirifos etil: O, O-dietil O-(3,5,6-tricloro 2-pirinidil) fosorotioato), en dosis de 10 $kgha^{-1}$. Los riegos fueron cada realizados cada 40 días.

El experimento se estableció bajo un diseño en Bloques completos al azar con dos repeticiones en cinco surcos de 5 m de longitud con una separación de surcos de 0.80 m, la distancia de la siembra de las semillas fue 20 cm, en donde las semillas limitaron la superficie del tratamiento, en las colectas de 2009, solamente se establecieron dos surcos, la siembra fue manual depositando una semilla por golpe. Los tratamientos evaluados fueron: 1) EPO-068(2009) colecta de cónico norteño en 2009, 2) CNGGAA(2024) cónico norteño de grano grande evaluado en Apaseo el Alto 2024, 3) EPO-012(2009) colecta de cónico norteño en 2009, 4) CNGMAA (2024) cónico norteño evaluado Celaya 2024, 5) CNGGACel(2009) colecta de cónico norteño en 2009, 6) EPO-056(2024) cónico norteño grano mediano Apaseo El Alto. Los valores promedios se consideraron de 16 mm de largo y 13 mm de ancho como el promedio general de las semillas de maíz (Biodiversidad mexicana +1). Las variables de rendimiento evaluadas fueron número de mazorcas, longitud de mazorca, número de hileras, granos por hilera, diámetro de mazorca, peso de olote, peso de 100 granos y peso de mazorca y la estimación de rendimiento basado en la fórmula: (RG) por parcela se realizó con un 13 de % de humedad del grano y se aplicó la fórmula de rendimiento en tha^{-1}: R = (PC * D * MS) /AP * 0.80 * 10,000, Donde: PC = Peso de campo, D = Porcentaje de grano, expresado en forma decimal, MS = Materia seca (100 - % de humedad) en forma decimal, AP = Área de la parcela neta. A los datos muestreados se les realizó un ANAVA con el paquete estadístico SAS (v 9.1) y los tratamientos se sometieron a una prueba de comparación de medias (Tukey α 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la varianza entre el nivel productivo de cada tratamiento mostró diferencia altamente significativa para todas las variables ($P \leq 0.01$), estos resultados muestran una gran variación en el nivel productivo de cada una de las colectas de las poblaciones de maíz, para la fuente de bloques no presentó diferencias significativas.

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables productivas de cultivo de maíz en dos colectas de semillas de maíz blanco de la raza cónico norteño (2009 y 2025), cultivados en el TecNM-Roque en el ciclo (I-P, 2025).

FV	Gl	Cuadrados medios							
		NoMz	LogMz	NoHil	GraHil	DiáMz	PeOlo	Pe100	PeMz
Bloq	1	0.34 ns	19.22ns	5.55ns	0.084 ns	0.37ns	2039.47ns	696.51ns	23.69ns
Trat	5	0.91**	86.68**	21.55**	250.12**	5.55**	663.17**	671.32**	40641.42**
Err	132	0.16	6.51	2.79	38.8	0.37	51.49	19.97	1185.94
Total	139	15.65	875.95	295.11	3772.74	52.32	8702.85	5351.47	280319.5
CV%		30.8	17.1	12.7	23.4	17.7	39.1	15.01	28.6

** = Diferencia estadística altamente significativa (P ≤ 0.01), * = Diferencia estadística altamente significativa (P ≤ 0.05), ns = Sin diferencia estadística (P≥ 0.05), NoMZ = Número de mazorcas, LogMz=Longitud de mazorca, NoHil = Número de hileras, GraHil = Granos por hilera, DiáMz = Diámetro de mazorca, PeOlo = Peso de olote, Pe100 = Peso de 100 granos, PeMz = Peso de mazorca.

Se ha validado que el mayor nivel de producción de los maíces de la raza cónico norteño, se obtiene en lugares donde la altura es superior a los 2000 msnm, esas regiones debido a su altura presentan una condición de alta nubosidad densa, con neblina constante, aunque no se presenten lluvias regulares las plantas se mantienen vivas y aunque las lluvias sean escasas o tardías, esta raza de maíz puede llegar a mantenerse y producir en temporal escasos, es decir en condiciones adversas, sus rendimientos son bajos pero logra rescatar una producción mínima, donde probablemente otros genotipos no alcanzarían a sobrevivir. Esta raza de maíz se adapta a condiciones de limitada precipitación y temperaturas bajas, esta amplia región de tipo montañosa del país se presenta desde el norte de Guanajuato hasta la parte serrana de Chihuahua. Su conservación ha sido a través de los agricultores custodios de maíces nativos, donde se observan en esas poblaciones, genotipos precoces o tardíos se han desarrollado en temporales críticos o de escasa lluvia (Rincón *et al*., 2010, Ortega 1977, CONABIO 2010).

La comparación de medias (Tukey a 0.05) muestra que la colecta de maíz ambiente Celaya y Apaseo el Alto, fueron superiores en 4 de las variables registradas (NoMz, LogMz, GraHil, y PeMz) seguido por la variedad EPO-068 superior en 2 de las variables (PeOlo y Pe100) se observaron datos similares en la variable (DiaMz). La población con menor comportamiento productivo fue EPO-056, donde se presentaron menor valor estadístico en 7 de las 8 variables evaluadas (con mayor valor en el NoHil). Ambas poblaciones se comportaron similarmente en la variable DiaMz. Se ha observado que la población con menor rendimiento fue EPO-056, que presentó el menor valor promedio estadístico en siete de las ocho variables evaluadas, obteniendo un mejor valor solo en NoHil. La población de maíz de la raza cónico norteño establecido en tres ciclos consecutivos en el ambiente Celaya mostró un rendimiento superior en la mayoría de las variables estudiadas. Esta información es fundamental para agricultores y fitomejoradores al tomar decisiones sobre las poblaciones y como puede afectar el ambiente *ex situ* en el cultivo de maíz.

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias (Tukey α 0.05) de variables productivas de cultivo de maíz en dos colectas de semillas de maíz blanco de la raza cónico norteño (2009 y 2025), cultivados en el TecNM-Roque en el ciclo (I-P, 2025).

Genotipo	Trat	Valores promedios								
		NoMz	LogMz	NoHil	GraHil	DiaMz	PeOlo	Pe100	PeMz	RendEst
EPO-068	1	1.25b	16.04ab	14a	26.58b	4.43ab	13.99bc	29.71bc	82.14b	2.7
CNGGAA	2	1.83a	18.78a	13.83a	34.41a	4.70ab	18.08bc	35.59a	183.98a	3.5
EPO-012	3	1.33b	12.38dc	10.66b	25.16b	4.05ab	11.35c	34.76ab	103.28b	2.8
CNGMAA	4	1.08b	15.68b	12.66ab	27.83ab	4.70a	31.60a	35.75a	153.43a	3.1
CNGGACel	5	1.33b	15.15bc	13.16a	25.25b	3.97b	21.49b	26.05c	166.66a	3.9
EPO-056	6	1.08b	11.33d	14.33a	20.45b	2.89c	13.58bc	16.68d	31.49c	0.8

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales. NoMZ = Número de mazorcas (promedio), LogMz=Longitud de mazorca (cm), NoHil = Número de hileras (promedio), GraHil = Granos por hilera (promedio), DiáMz = Diámetro de mazorca (cm), PeOlo = Peso de olote (g), Pe100 = Peso de 100 granos (g), PeMz = Peso de mazorca (g).

Los resultados obtenidos muestran que el maíz blanco de la raza Cónico Norteño exhibe un mejor nivel de producción comparado con otros híbridos convencionales establecidos en la misma región, donde se presentan temporales irregulares con alta humedad ambiental, con precipitaciones escasas. Las poblaciones se han mantenido particularmente bien a regiones con precipitación limitada y temperaturas bajas, siendo prácticamente la única capaz de ajustarse a esta región. Los custodios de maíces nativos han mantenido estas poblaciones precoces y tardías que se adecuan a condiciones de lluvia escasa, como se ha reportado en estudios previos (Avendaño et al., 2005; Ortega 1977; Ortega 2011; CONABIO 2010). Su amplia variabilidad tienen una enorme ventaja en el proceso de mejoramiento selectivo y rescatar fuentes de genes importantes y que se puedan incorporar a otras poblaciones que puedan soportar los cambios climáticos que se están presentando.

CONCLUSIONES

El maíz blanco de la raza cónico norteño presenta una amplia variabilidad.

Esta raza de maíz una fuente importante de reservorio genético, tolerante a sequía y se adapta a temporales irregulares, soportando el cambio climático.

Su resiliencia es ampliamente superior en comparación con los híbridos convencionales, que no se han desarrollado para este tipo de regiones.

Se obtuvieron mejores resultados con el empleo de semillas de tamaño grande tanto de las cultivadas en el ambiente de Celaya como el de Apaseo el Alto, ambos municipios de Guanajuato.

La estimación de rendimiento se logró mejor cuando la semilla provino de tres cultivos consecutivos anteriores en el ambiente de Celaya.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blog Agricultura. (2024). Estadísticas de producción de maíz grano en México. Recuperado de https://blogagricultura.com/estadisticas-maiz-grano-mexico/

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011). Cónico Norteño. En Diversidad de maíces nativos de México. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico/ conicoNorteno

Esparza Esparza, M. A. (2024). Evaluación de la tolerancia al cambio climático en maíces nativos: el caso de la raza Cónico Norteño [Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]. Repositorio IPICYT. https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/6499

Rincón

Imagen Agropecuaria. (2024, octubre). Producción de maíz en México en 2024, al mínimo en una década. Recuperado de https://imagenagropecuaria.com/2024/produccion-de-maiz-en-mexico-en-2024-al-minimo-en-una-decada/

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). Producción de maíz en México: participación de pequeños y medianos productores. Ciudad de México: SADER.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2020). Maíz: el cultivo de México. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) & Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Reportes gráfico-estadísticos 2024. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/documentos/reportes-grafico-estadisticos-2024.

TEEB México. (2023). Tendencias históricas del sector maíz en México (1980–2020). Recuperado de https://teebmexico.org/wp-content/uploads/2023/09/TENDENCIAS-HISTORICAS-DEL-SECTOR-MAIZ-EN-MEXICO_final.pdf

Kato Y. T.A. (2024). Caracterización y origen genético de tres razas de maíz a partir de datos de nudos cromosómicos. Revista Fitotecnia Mexicana, 46(3): 219–227. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-738020 23000300219

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ACTIVADORES FISIOLÓGICOS EN LA PRODUCCIÓN DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.)

Eduardo E. Camargo González[1]; Gustavo F. Ibarra Calero[1]; Paulino Vega Rodríguez[2§]; Rodrigo Ramírez Rodríguez[2]; Juan C González Morales[2]; Luis P. Guevara Acevedo[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato.[2]TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. [§] Paulino Vega Rodríguez. [£]Autor de correspondencia: paulino.vr@roque,tecnm,mx.

RESUMEN

El garbanzo (Cicer arietinum L.) es una de las leguminosas más importantes a nivel mundial debido a su alto valor nutricional y su capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. Existen dos principales tipos de garbanzo: el tipo Desi, caracterizado por semillas pequeñas, de diversos colores y con alto contenido de fibra, y el tipo Kabuli, que presenta semillas de mayor tamaño, color blanco a beige y menor contenido de fibra. Sin embargo, el rendimiento y desarrollo del cultivo pueden verse afectados por diversos factores ambientales que limitan el crecimiento vegetativo y reducen procesos importantes como la floración, fructificación y el prendimiento de flores. Ante esta problemática, el uso de inductores fisiológicos y bioestimulantes representa una alternativa para mejorar la respuesta fisiológica y productiva del cultivo. El experimento se realizó en el Tecnológico Nacional de México campus Roque, bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos con ácido salicílico con una dosis de 6.7Mm, extracto de algas 5 mL L^{-1}, la combinación de ambos 6.7Mm + 5 mL L^{-1}y un testigo comercial PRO 90® (Los pros del campo) de 3 mL L^{-1}. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, donde el extracto de algas marinas a dosis de 5 mL L^{-1} presentó los mejores resultados con 73.12 de floración, 69.20 frutos y 94.67% de prendimiento. La combinación de ácido salicílico y extracto de algas también mostró efectos positivos, mientras que el testigo presentó los valores más bajos. La aplicación foliar de extracto de algas marinas es una alternativa viable para mejorar la floración, fructificación y prendimiento en el cultivo de garbanzo, incrementando en más del 26 % las variables evaluadas en comparación con el testigo comercial.

Palabras clave: *ácido salicílico, algas marinas, garbanzo, floración, fructificación, prendimiento.*

ABSTRACT

The chickpea (Cicer arietinum) is one of the most important legumes worldwide due to its high nutritional value and its ability to adapt to different environmental conditions. There are two main types of chickpeas: the Desi type, characterized by small, colorful seeds with a high fiber content, and the Kabuli type, which has larger, white to beige seeds with a lower fiber content. However, crop yield and development can be affected by various environmental factors that limit vegetative growth

and reduce important processes such as flowering, fruiting, and flower set. Given this problem, the use of physiological inducers and biostimulants represents an alternative to improve the crop's physiological and productive response. The experiment was conducted at the National Technological Institute of Mexico, Roque campus, using a completely randomized block design with four treatments: salicylic acid at a dose of 6.7 Mm, seaweed extract at 5 mL L^{-1}, a combination of both (6.7 Mm + 5 mL L^{-1}), and a commercial control, PRO 90® (Los pros del campo), at 3 mL L^{-1}. The results showed highly significant differences between treatments, with the seaweed extract at a dose of 5 mL L^{-1} exhibiting the best results: 73.12% flowering, 69.20% fruit set, and 94.67% fruit set. The combination of salicylic acid and seaweed extract also showed positive effects, while the control showed the lowest values. Foliar application of seaweed extract is a viable alternative to improve flowering, fruiting and rooting in chickpea cultivation, increasing the evaluated variables by more than 26% compared to the commercial control.

Keywords: *salicylic acid, seaweed, chickpea, flowering, fruit set, fruit set, abiotic factors*

INTRODUCCIÓN

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es de los principales cultivos en el mundo por su gran aporte nutricional y su capacidad en distintas condiciones ambientales. El garbanzo tiene varios tipos de características como lo es el Desi las cuales son pequeñas, de distintos colores, con cubierta rugosa y alto contenido de fibra, mientras que las de tipo Kabuli son rugosas y de un tamaño más grandes con una tonalidad un poco blanca a beige y bajo porcentaje de fibra (Singh et al, 2020). A pesar de su importancia, el cultivo puede verse afectado por diversos factores ambientales lo que reducen el crecimiento vegetativo lo cual afecta el proceso de floración y fructificación. Debido a estos factores se destaca el uso de activadores fisiológicos y bioestimulantes (Hussain et al, 2020).

Uno de estos activadores fisiológicos para mejorar estos resultados es ácido salicílico ya que es una hormona vegetal natural y una molécula señalizadora que aumenta la tolerancia de las plantas al contrarrestar los efectos tóxicos de la salinidad sobre el crecimiento y el rendimiento (Khan et al, 2015). Otra alternativa para mitigar los factores son los biofertilizantes de extractos de algas marinas que contienen compuestos bioactivos y fitohormonas que promueven la germinación, el crecimiento vegetativo, floración y fructificación (Singh et al, 2022). Por lo tanto, el objetivo es evaluar la aplicación foliar de inductores de resistentencia en el porcentaje de floración, fructificación y prendimiento en el cultivo de garbanzo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una parcela didáctica del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, ubicada en el estado de Guanajuato, México, en una superficie total de 162 m². La preparación del terreno

consistió en un pase de rastra para la adecuación del suelo, seguido del trazado de surcos con una separación de 0.75 m entre ellos.

Se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro bloques y cuatro tratamientos. Los tratamientos se aplicaron a los 30 días después de siembra y cada 15 días se aplicó, ácido salicílico a una concentración de 6.7Mm, extracto de algas a 5 mL L^{-1}, la combinación de ambos productos en las mismas concentraciones y un testigo comercial correspondiente a PRO 90® (Los pros del campo) aplicado a 3 mL L^{-1}. A todos los tratamientos se les adicionó 1 mL de adherente Agrega Super® a 1 mL L^{-1}, que correspondieron desde la etapa inicial del cultivo hasta el inicio de la floración.

Se realizó el conteo del número de flores y del número de frutos por planta con la finalidad de evaluar el efecto de los diferentes tratamientos. Para ello, las evaluaciones se llevaron a cabo de manera periódica durante la etapa de floración y fructificación del cultivo, seleccionando plantas representativas dentro de cada unidad experimental. El número de flores se registró mediante conteo directo de las estructuras florales presentes en cada planta al momento de máxima floración, mientras que el número de frutos se determinó contabilizando las vainas desarrolladas posteriormente al proceso de fecundación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas (Pr<0.01) entre tratamientos en las variables número de flores (Pr>F, 0.0002), número de frutos (Pr>F, <0.0001) y porcentaje de prendimiento (Pr>F, 0.0033), lo cual indica que las aplicaciones evaluadas obtuvieron efectos positivos en el desarrollo reproductivo.

Por otro lado, el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas en las variables evaluadas, lo que indica que las condiciones del experimento fueron uniformes, lo cual atribuye que la variabilidad es principalmente al efecto de los tratamientos.

Cuadro 1. Cuadrado medio de las variables número de flores, numero de frutos y prendimiento de flores por efecto de la aplicación foliar de inductores de resistentencia en el cultivo de garbanzo.

FV	Gl	Número de Flores	Número de Frutos	Prendimiento (%)
Trat (T)	3	211.2975**	536.6966**	326.1263**
Bloq (B)	1	18.2405 ^{ns}	3.6125^{ns}	81.7696^{ns}
T x M	3	1.9608^{ns}	9.0138^{ns}	26.7314^{ns}
EE	8	7.9777	2.8657	29.6829
Total	15	-	-	-
CV		4.3748	3.0433	6.3611
R^2		0.9115	0.9862	0.8276

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05).

El tratamiento de extracto de algas a dosis de 5 mL L^{-1} fue el que mayor índice de floración presentó con 73.12, así como, mayor número de fructificación con 69.20 frutos y porcentaje de prendimiento del 94.67%, seguida de la combinación de ácido salicílico y extracto de algas marinas a dosis de 6.7Mm + 5 mL L^{-1} el cual presento una floración de 64.35, mientras que en fructificación con el 58.75 frutos y con un prendimiento del 91.40% como tercero tuvimos al acido salicílico con una dosis de 6.7Mm el cual se obtuvo 65.40 en floración, mientras que en fructificación un 53.15 y en prendimiento con el 81.49% a la vez que el testigo PRO 90® (Los pros del campo) fue el de menor valor con un 55.37 en floración, mientras que en fructificación 41.40 y en prendimiento 75.02. Los resultados obtenidos son similares a los descritos por García et al. (2023), quienes obtuvieron un 92 % en la aplicación foliar de extractos de algas marinas en lima. De igual manera, Hernández et al. (2018) señalaron que los extractos de algas marinas favorecen el crecimiento y rendimiento de las plantas en un 20% a 30%. Por otra parte, Prisa (2023) reportaron que la aplicación microalgas promovió aumentos de entre 15 y 25 % en la floración y producción de frutos en cultivos hortícolas. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación fueron menores a los reportados por algunos autores, posiblemente debido a variaciones en las condiciones climáticas, dosis aplicadas y respuesta genética del cultivo evaluado.

Cuadro 2. Porcentaje de floración, fructificación y prendimiento en el cultivo de garbanzo por efecto de aplicaciones foliares.

No.	Tratamientos	Dosis (mL L^{-1})	Floración	Fructificación	Prendimiento
1	Ácido Salicílico	6.7	65.40 b	53.15 c	81.49 bc
2	Extracto de algas	5	73.12 a	69.20 a	94.67 a
3	Ácido Salicílico + Extracto de algas	6.7 + 5	64.35 b	58.75 b	91.40 ab
4	PRO90®	3	55.37 c	41.40 d	75.02 c

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

CONCLUSIÓN

El tratamiento con extracto de algas marinas en 5 mL L^{-1} presentó los resultados más significativos, por lo que es una alternativa viable para mejorar el rendimiento del cultivo de garbanzo al aumentar en más del 26% el número de flores, frutos y porcentaje de prendimiento en comparación con aplicación del testigo comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García Olarte MA; Hernández Fuentes AD; Rodríguez Mendoza MN; Vargas Canales JM (2023). Las aplicaciones de extractos de algas en lima persa aumentan rendimiento y calidad de fruto de exportación. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar 7(4): 1123-1135.

Hernández-Herrera RM; Santacruz-Ruvalcaba F; Ruiz-López MA; Norrie J; Hernández-Carmona G (2018). Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. Hidrobiológica 28(1): 129-140.

Hussain I; Rasheed R; Ashraf MA; Mohsin M; Shah SMA; Rashid A; Akram M; Nisar J; Riaz M (2020). Foliar applied acetylsalicylic acid induced growth and key-biochemical changes in chickpea (Cicer arietinum L.) under drought stress. Dose-Response 18(4).

Khan MIR; Fatma M; Per TS; Anjum NA; Khan NA (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in Plant Science 6: 462.

Prisa D; Spagnuolo M (2023). Biostimulant effect of microalgae on plant growth, flowering, and fruit production. Horticulturae 9(7): 829.

Singh D; Sharma NL; Singh CK; Sarkar SK; Singh I; Dotaniya ML (2020). Effect of chromium (VI) toxicity on morpho-physiological characteristics, yield, and yield components of two chickpea (Cicer arietinum L.) varieties. PLOS ONE 15(12).

Singh D; Singh CK; Sarkar SK; Prasad SK; Sharma NL; Singh I (2022). Glycine betaine modulates chromium (VI)-induced morpho-physiological and biochemical responses in chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars. Scientific Reports 12: 8005.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

BACTERIAS NATIVAS COMO PROBIÓTICOS VEGETALES

Clara Ivette Rincón-Molina[1]; Luis Alberto Manzano-Gómez[1,3]; Luis Galdino García-Pérez[2]; Francisco Alexander Rincón-Molina[1]; Reiner Rincón-Rosales[1]; Stephanie Solís Zebadúa[1]; Erick Fabián Sarmiento Megchum[1]; Julio César Maldonado Gómez[1]

[1]Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México, Tuxtla Gutiérrez, 29050, Chiapas, México; [2] Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, 29039, Chiapas, México; [3]3R Biotec SA de CV, Tuxtla Gutiérrez, 29000, Chiapas, México. Autor de correspondencia: clara.rm@tuxtla.tecnm.mx

RESUMEN

La agricultura mexicana enfrenta el reto de mejorar la productividad sin comprometer la sostenibilidad ambiental. El uso intensivo de fertilizantes químicos ha provocado deterioro del suelo, contaminación hídrica y dependencia de insumos importados. En este contexto, los biofertilizantes representan una alternativa viable, en especial aquellos formulados con bacterias nativas que actúan como probióticos vegetales. Este trabajo revisó los avances científicos y tecnológicos, así como los desafíos regulatorios y prácticos que enfrenta el sector de biofertilizantes en México. Se identificaron esfuerzos históricos desde los años ochenta, así como innovaciones recientes como la aplicación de consorcios microbianos y técnicas de encapsulamiento. Se analizaron programas públicos relevantes y se discutieron riesgos asociados al uso de microorganismos mal caracterizados, particularmente en relación con genes de resistencia a antibióticos. Asimismo, se resaltó la necesidad de una regulación más estricta que garantice la seguridad biológica de los productos disponibles en el mercado. Finalmente, se propuso una ruta de investigación enfocada en el aprovechamiento de cepas bacterianas que aseguren su uso inocuo, la caracterización genómica de las mismas y la articulación entre academia, industria y políticas públicas para fortalecer la soberanía biotecnológica agrícola del país. Las conclusiones destacan la necesidad de reforzar la regulación, invertir en investigación multidisciplinaria y fomentar el uso de tecnologías apropiadas para el desarrollo local de bioinsumos.

Palabras clave: *agricultura sostenible, bacterias nativas, biofertilizantes, probióticos, seguridad biológica*

INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de fertilizantes químicos ha generado preocupación global por su impacto negativo en los ecosistemas, particularmente en la calidad del suelo, el agua y la biodiversidad (Mahanty et al., 2017). En este contexto, el desarrollo de biofertilizantes se posicionó como una alternativa biotecnológica viable para promover la sostenibilidad agrícola, reducir el uso de agroquímicos y conservar los recursos naturales (Gehlot et al., 2021; Vassilev et al., 2015). En México, país con alta diversidad agrícola y microbiana, el interés por estos insumos creció paulatinamente desde la década de 1980, cuando se registraron los primeros ensayos exitosos con

inoculantes rizobiales aplicados en leguminosas (Armenta-Bojórquez, 1986). A pesar del potencial demostrado por los biofertilizantes, su adopción masiva en el país ha sido limitada por factores técnicos, regulatorios y de percepción. El término "biofertilizante" fue en ocasiones utilizado de forma incorrecta para referirse a productos que no contenían microorganismos definidos ni efectos comprobables sobre las plantas (Das, 2019). En contraste, un biofertilizante propiamente dicho fue definido como un producto con composición microbiana conocida, capaz de promover el crecimiento vegetal a través de mecanismos como la fijación biológica de nitrógeno o la solubilización de fósforo (Daniel et al., 2022). El desarrollo de nuevas herramientas moleculares y de secuenciación permitió caracterizar con mayor precisión las cepas microbianas utilizadas, identificar genes funcionales y mejorar la eficiencia y estabilidad de los productos formulados (Adeleke et al., 2022; Kumar et al., 2017). Sin embargo, también se evidenció la necesidad de evaluar aspectos relacionados con la seguridad biológica, como la presencia de genes de resistencia a antibióticos o factores de virulencia en cepas mal seleccionadas (Larsson et al., 2022). Frente a este panorama, resultó necesario analizar el estado actual de los biofertilizantes en México, desde su evolución histórica hasta los retos técnicos, ambientales y normativos que condicionan su implementación. Esta revisión tuvo como propósito ofrecer una visión crítica sobre las oportunidades y limitaciones del uso de bacterias nativas como probióticos vegetales, considerando su impacto sobre la sostenibilidad agrícola y su papel en las políticas públicas del sector.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión se llevó a cabo mediante el análisis integral de literatura científica especializada, enfocada en el desarrollo, producción y aplicación de bacterias nativas utilizadas como biofertilizantes en la agricultura mexicana. Se consultaron publicaciones indexadas en bases de datos académicas y fuentes oficiales del gobierno mexicano relacionadas con la regulación de insumos biológicos. La localización del estudio correspondió al contexto agrícola de México. Se identificaron prácticas asociadas a la producción artesanal y comercial de biofertilizantes, incluyendo el uso de cepas bacterianas del género Rhizobium, Azospirillum, Bacillus, Pseudomonas y otros microorganismos de interés agronómico. Se analizaron técnicas actuales de formulación, tales como la encapsulación, el uso de portadores sólidos y líquidos, y los procesos de fermentación para la producción a escala industrial. Asimismo, se consideraron elementos del diseño experimental reportados en estudios de campo, incluyendo la aplicación en cultivos como maíz, tomate y leguminosas, así como la evaluación de su eficacia en condiciones de diferentes tipos de suelo y disponibilidad de fósforo. El periodo de análisis comprendió investigaciones realizadas desde la década de 1980 hasta el año 2025. Se incorporaron además criterios regulatorios establecidos por la norma NOM-077-FITO-2000, que establece los requisitos microbiológicos y de efectividad para el registro de productos biofertilizantes en México. Finalmente, se evaluaron metodologías moleculares recientes como la secuenciación genómica, el análisis

proteómico y la identificación de genes funcionales como ureC, nosZ y amoA, utilizados para caracterizar el potencial biotecnológico y la seguridad biológica de las cepas empleadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de biofertilizantes en México presentó una evolución significativa desde su introducción en la década de 1980, cuando se registraron los primeros ensayos exitosos con inoculantes rizobiales en leguminosas (Armenta-Bojórquez, 1986). A partir de estos antecedentes, se impulsó la investigación sobre consorcios microbianos, como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) y hongos micorrízicos arbusculares (AMF), los cuales demostraron efectos positivos sobre la asimilación de fósforo, la fijación de nitrógeno y la producción de fitohormonas (Sahgal et al., 2020; Soumare et al., 2020).

Se observó que la combinación de PGPB con AMF generó efectos sinérgicos que mejoraron la estructura del suelo, incrementaron el contenido de materia orgánica y optimizaron el desarrollo radicular en cultivos como maíz y tomate. Estudios proteómicos revelaron que la coinoculación de estos microorganismos moduló positivamente mecanismos de defensa vegetal y productividad (Concha et al., 2020).

En el ámbito regulatorio, la producción y comercialización de biofertilizantes en México es supervisada por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), bajo la norma NOM-077-FITO-2000. Esta norma establece los criterios microbiológicos mínimos para garantizar la calidad y seguridad de los productos, así como su eficacia agronómica. A pesar de ello, se identifica una saturación del mercado con productos de baja calidad, formulados sin respaldo técnico y con cepas no caracterizadas adecuadamente.

Desde el punto de vista molecular, se documentaron riesgos asociados a la presencia de genes de resistencia a antibióticos (ARGs) y factores de virulencia (VFs) en algunas cepas utilizadas en biofertilizantes comerciales (Larsson et al., 2022). Esta situación resaltó la importancia de implementar estrategias de selección de cepas nativas con bajo riesgo biológico, así como la eliminación de genes no deseados mediante herramientas de edición genética (Wang et al., 2022).

En cuanto a los mecanismos biológicos, se reportó que las bacterias probióticas vegetales promovieron el crecimiento mediante la fijación biológica de nitrógeno (Rhizobium, Azospirillum), la solubilización de fósforo (Pseudomonas, Bacillus), la producción de sideróforos para mejorar la disponibilidad de hierro y la síntesis de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas (Bhattacharyya et al., 2012; Glick et al., 2020). Además,

se demostró que estas bacterias indujeron resistencia sistémica en las plantas, fortaleciendo su capacidad para enfrentar condiciones adversas y ataques patógenos (Gupta et al., 2023).

Se identificaron también múltiples desafíos en la producción y adopción de biofertilizantes, entre ellos: la falta de estandarización en las formulaciones, la baja viabilidad durante el almacenamiento, el limitado acceso a infraestructura para su producción local y la escasa capacitación técnica entre productores. Asimismo, las condiciones agroecológicas variables y la diversidad de suelos dificultaron su efectividad uniforme en campo abierto (Schmidt et al., 2018).

Finalmente, se destacó que la sostenibilidad ambiental derivada del uso de biofertilizantes incluyó la reducción de la volatilización de amoníaco, la disminución de emisiones de óxidos de nitrógeno y la mejora de la salud del suelo. Particularmente, cepas de Bacillus subtilis y Rhizobium con genes funcionales como ureC y nosZ lograron mitigar emisiones contaminantes, aportando beneficios tanto agronómicos como ecológicos (Rincón-Molina et al., 2025).

CONCLUSIONES

El uso de biofertilizantes formulados con bacterias nativas representa una estrategia viable y sostenible para mejorar la productividad agrícola en México, al tiempo que se reduce la dependencia de insumos químicos. Las bacterias probióticas vegetales favorecen el crecimiento de las plantas mediante mecanismos bien caracterizados como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo, la producción de fitohormonas y la inducción de resistencia sistémica.

La evidencia científica demuestra que la coinoculación de consorcios microbianos, como bacterias promotoras del crecimiento y hongos micorrízicos arbusculares, genera efectos sinérgicos que benefician tanto al cultivo como al suelo. La implementación de tecnologías como la encapsulación, el uso de portadores adecuados y la caracterización genética de las cepas empleadas mejora la eficacia, estabilidad y seguridad de los productos biofertilizantes.

No obstante, persisten retos importantes en términos de regulación, estandarización de calidad, riesgos biológicos potenciales y transferencia de conocimiento al sector agrícola. La adopción generalizada de biofertilizantes requiere fortalecer los marcos normativos, fomentar la investigación interdisciplinaria y garantizar la participación activa de productores, instituciones científicas y organismos gubernamentales.

México posee el potencial científico y biotecnológico para posicionarse como referente en agricultura sostenible mediante el uso seguro y eficaz de biofertilizantes basados en recursos microbianos nativos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez, por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación. Se reconoce el apoyo financiero brindado por SECIHTI mediante la asignación de becas posdoctorales y doctorales, así como a la empresa 3R Biotec SA de CV por su colaboración técnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adeleke BS, Fadiji AE, Ayilara MS, Igiehon ON, Nwachukwu BC, Babalola OO. 2022. Strategies to enhance the use of endophytes as bioinoculants in agriculture. Horticulturae 8(6):498. https://doi.org/10.3390/horticulturae8060498

Armenta-Bojórquez, A. D., Ferrera-Cerrato, R., Trinidad, S. A., y Volke, H.V. 1986. Fertilización e Inoculación con Rhizobium y Endomicorrizas (V-A) en Garbanzo Blanco (Cicerarietinum L.) en Suelos del Noroeste de México. Agrociencia. (65):141-160. https://biblat.unam.mx/es/revista/agrociencia/articulo/fertilizacion-e-inoculacion-con-rhizobium-y-endomicorrizas-v-a-en-garbanzo-blanco-cicer-arietinum-l-en-suelos-del-noroeste-de-mexico

Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28, 1327-1350. https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9

Concha, C., & Doerner, P. (2020). The impact of the rhizobia–legume symbiosis on host root system architecture. Journal of experimental botany, 71(13), 3902-3921. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa198

Daniel AI, Fadaka AO, Gokul A, Bakare OO, Aina O, Fisher S, Klein A. 2022. Biofertilizer: the future of food security and food safety. Microorganisms 10(6):1220. https://doi.org/10.3390/microorganisms10061220

Das HK. 2019. Azotobacters as biofertilizer. Advances in Applied Microbiology 108:1–43. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2019.07.001

Gehlot, P., Pareek, N., & Vivekanand, V. (2021). Development of biofertilizers and microbial consortium an approach to sustainable agriculture practices. Plant, Soil and Microbes in Tropical Ecosystems, 315-348. 10.1007/978- 981-16-3364-5_15

Glick, B. R., & Glick, B. R. (2020). Introduction to plant growth-promoting bacteria. Beneficial plant-bacterial interactions, 1-37. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44368-9_1

Gupta, S., & Pandey, S. (2023). Plant growth promoting rhizobacteria to mitigate biotic and abiotic stress in plants. Sustainable Agriculture Reviews 60: Microbial Processes in Agriculture, 47-68. 10.1007/978-3-031-24181-9_3

Kumar M, Saxena R, Tomar RS. 2017. Endophytic microorganisms: promising candidate as biofertilizer. In: Singh DP, Singh HB, Prabha R, eds. Microorganisms for Green Revolution, Microbes for Sustainable Crop Production. Vol. 1. Singapore: Springer. p. 77–85. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_4

Larsson, D. G., & Flach, C. F. (2022). Antibiotic resistance in the environment. Nature Reviews Microbiology, 20(5), 257-269. https://doi.org/10.1038/s41579-021-00649-x

Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. Environmental Science and Pollution Research, 24, 3315-3335. 10.1007/s11356-016- 8104-0

Rincón-Molina CI, Manzano-Gómez LA, García-Pérez LG, Rincón-Molina FA, Rincón-Rosales R. 2025. Advances and challenges in the production and use of native bacteria as plant probiotics in agronomic applications: a Mexican review. Journal of Agriculture and Food Research 21:101917. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101917

Sahgal, S., & Srivastava, D. (2020). Utilization of Microbial Diversity as Biofertilizers. International Journal of Plant and Environment, 6(03), 218-221. https://doi.org/10.18811/ijpen.v6i03.11

Schmidt, J. E., & Gaudin, A. C. (2018). What is the agronomic potential of biofertilizers for maize? A meta-analysis. FEMS microbiology ecology, 94(7), fiy094. 10.1093/femsec/fiy094

Soumare, A., Boubekri, K., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., & Kouisni, L. (2020). From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: status and needs. Frontiers in bioengineering and biotechnology, 7, 425. https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425

Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2022). Bacterial siderophores: Classification, biosynthesis, perspectives of use in agriculture. Plants, 11(22), 3065. https://doi.org/10.3390/plants11223065

Vassilev, N., Vassileva, M., Lopez, A., Martos, V., Reyes, A., Maksimovic, I., ... & Malusa, E. (2015). Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. Applied microbiology and biotechnology, 99, 4983-4996. https://doi.org/10.1007/s00253-015-6656-4

Wang, J., & Chen, X. (2022). Removal of antibiotic resistance genes (ARGs) in various wastewater treatment processes: An overview. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 52(4), 571-630. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1835124

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

TAMAÑO DE LA POBLACIÓN Y TIEMPO DE RESPUESTA DE *Bacillus cereus* PARA EL CONTROL DE *Fusarium solani*

POPULATION SIZE AND RESPONSE TIME OF *Bacillus cereus* FOR THE CONTROL OF *Fusarium solani*

Josué I. Zapata-Mata[1]; Brenda Z. Guerrero-Aguilar[2,3]; Mario M. González-Chavira[2]; César L. Aguirre Mancilla[3]; Ramón G. Guevara González [4]; Juan G. Ramírez Pimentel[3]; Ahuízotl Joaquín Ramos[3]

[1]Universidad de Guanajuato Campus Celaya-Salvatierra, [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, [3]Tecnológico Nacional de México Roque, [4]Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala. Correo de correspondencia: d24980102@roque.tecnm.mx.

RESUMEN

Uno de los patógenos vegetales más importantes es *Fusarium solani*. Para su control biológico se ha usado *Bacillus cereus* por sus efectos antagónicos contra este hongo. Para lograr la eficiencia del control biológico es necesario conocer el tamaño de población necesario para que el antagonista sobreviva y ejerza lo más rápido posible su efecto antagónico. Con base en lo anterior se realizó este trabajo con el objetivo de establecer el tamaño de población necesario y el tiempo de respuesta en el que *B. cereus* es capaz de controlar a *F. solani* bajo condiciones *in vitro*. El sustrato compuesto por suelo y Peat Moss se estableció en un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: curativo (*F. solani* primero, *B. cereus* tres días después), preventivo (*B. cereus* primero, *F. solani* tres días después) y dos controles (cada microorganismo por separado). Los resultados mostraron que la interacción tiempo × microorganismo fue significativa en ambos tratamientos (preventivo: $p < 0.0001$; curativo: $p = 0.0003$), lo que confirma el efecto inhibitorio de *B. cereus* sobre *F. solani*. La densidad poblacional de *B. cereus* asociada al control del patógeno se encontró entre 0.9×10^6 y 40.2×10^6 UFC/g de suelo, dependiendo del tratamiento. El efecto inhibitorio se manifestó a partir del tercer día de crecimiento conjunto.

Palabras clave: *densidad poblacional, antagonismo, control biológico, quorum sensing*

ABSTRACT

Fusarium solani is one of the most important plant pathogens. *Bacillus cereus* has been used as a biological control agent due to its antagonistic effects against this fungus. To achieve efficient biological control, it is necessary to know the population size required for the antagonist to survive and exert its antagonistic effect as quickly as possible. Based on this, this study aimed to establish the necessary population size and response time for B. cereus to control F. solani under in vitro conditions. A substrate composed of soil and peat moss was

used. Four treatments with three replicates each were established in a completely randomized design: curative (*F. solani* first, *B. cereus* three days later), preventive (*B. cereus* first, *F. solani* three days later), and two controls (each microorganism alone). The results showed that the time × microorganism interaction was significant in both treatments (preventive: $p < 0.0001$; curative: $p = 0.0003$), confirming the inhibitory effect of B. cereus on F. solani. The population density of B. cereus associated with pathogen control ranged from 0.9×10^6 to 40.2×10^6 CFU/g of soil, depending on the treatment. The inhibitory effect was observed from the third day of co-growth.

Keywords: *population density, antagonism, biological control, quorum sensing*

INTRODUCCIÓN

Uno de los patógenos vegetales más importantes es *Fusarium solani*, el cual, actualmente se considera que representa un complejo con más de 45 especies filogenéticas/biológicas (Geiser et al., 2021), muchas de las cuales son de importancia agrícola ya que se han reportado más de 1,000 relaciones patogénicas de este hongo, con más de 500 especies de plantas hospederas (Farr y Rossman, 2017). Debido a esto, existe la necesidad urgente de desarrollar herramientas más eficaces, sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para su control.

Dentro del manejo fitosanitario moderno que se basa en la aplicación de métodos no químicos para la protección de las plantas contra enfermedades, plagas y malezas, uno de los más usados es el control biológico o biocontrol, el cual es una solución alternativa al uso de pesticidas químicos y consiste en la introducción artificial de microorganismos antagonistas en un ecosistema determinado para controlar un patógeno (Pandit et al., 2022). Uno de estos microorganismos que se ha utilizado ampliamente en los métodos de control biológico es *Bacillus cereus*, porque ha demostrado que tiene efectos antagónicos sobre diversos hongos (Zhou et al, 2021; Ramírez et al, 2022). Particularmente, exhibe una importante actividad antifúngica contra *F. solani*, principalmente mediante la producción de enzimas hidrolíticas y metabolitos secundarios. Varios estudios han demostrado que cepas específicas de *B. cereus* pueden inhibir eficazmente el crecimiento micelial, la germinación de esporas y la elongación del tubo germinativo de este patógeno (Chang et al., 2007; León et al., 2009; Mejía-Bautista et al., 2016; Rahimi-Midani et al., 2016; Gharsallah et al., 2025).

La eficiencia de *B. cereus* para el control biológico de patógenos, al igual que en el resto de este tipo de bacterias, depende del tamaño de su población, el cual es un factor crítico para el éxito del control biológico de fitopatógenos. Una alta densidad poblacional es generalmente necesaria para establecerse en el nicho ecológico y superar a los patógenos mediante competencia, antibiosis o inducción de resistencia (Maake &

Sibisi, 2025). Bacterias como *Bacillus* o *Pseudomonas* dependen de la densidad poblacional mediante un mecanismo conocido como quorum sensing, el cual activa la producción de metabolitos antimicrobianos solo cuando se alcanza una concentración celular crítica. Aunque un inóculo alto aumenta la eficacia, existe una cantidad mínima necesaria para que el antagonista sobreviva y se establezca ante la competencia de la microbiota nativa. Esta cantidad se conoce como Umbral de inóculo (Noorani et al, 2025). Esta información es necesaria para establecer la dosis-respuesta; en este caso, la menor concentración de *B. cereus* para que ejerza un control efectivo sobre *F. solani*, dato necesario para el desarrollo de un bioplaguicida, en términos ecológicos y económicos. Otra información requerida es determinar el tiempo de respuesta, es decir, la velocidad en la que un biocontrolador ejerce su actividad, pues este también es un criterio de selección importante, ya que un microorganismo que actúe rápido tiene más posibilidades de ejercer un control efectivo en condiciones de campo (Cotes et al. 2018). Con base en lo anterior, se realizó este trabajo con el objetivo de establecer el tamaño de población mínimo (umbral) y el tiempo de respuesta en el que *B. cereus* ejerce un control efectivo sobre *F. solani*, en un sistema de suelo estéril.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismos. La cepa de *Fusarium solani* fue aislada de plantas de frijol con síntomas de fusariosis e identificada por características morfológicas basadas en el manual de Leslie & Summerell (2006).
La cepa de *Bacillus cereus* utilizada fue la cepa Amazcala (B.c-A), aislada originalmente de raíces de higuerilla (*Ricinus communis*) en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. Esta cepa fue identificada molecularmente mediante la secuenciación del gen 16S rRNA (número de acceso GenBank: MK941165) y se encuentra caracterizada por su actividad antagónica y promotora del crecimiento vegetal (Solano-Álvarez et al., 2021).

El sustrato utilizado fue una mezcla homogénea de un suelo de tipo franco arcillo-arenoso y Peat Moss, lo que dio como resultado un sustrato con pH 7.3 y con 6.97% de materia orgánica (MO). Para cada tratamiento, se colocaron 15 g del sustrato en tubos tipo Falcon de 50 mL. Los tubos con el sustrato, fueron esterilizados en autoclave para asegurar la eliminación de microorganismos nativos.

Para la preparación del inóculo, en cajas Petri con medio PDA sólido, se colocó un fragmento de micelio que se dejó crecer a temperatura ambiente hasta la aparición de conidios; posteriormente, usando la técnica de García-Bastidas (2019), se recolectaron y se realizó el conteo de conidios con el uso de la cámara de Neubauer, obteniendo el número de conidios por mL de solución. Al finalizar el conteo, se recolectó la suspensión de conidios para ajustarla a una concentración final de $1x10^6$ conidios/mL.

La concentración de *B. cereus* se determinó mediante conteo en placa. Se realizaron diluciones seriadas del cultivo bacteriano y se sembraron 100 µL de la dilución $1x10^{-6}$ en cajas Petri con medio Agar Nutritivo (AN) por extensión superficial. Las placas se incubaron a 28°C durante 24-48 h. El conteo de colonias fue una concentración de aproximadamente 1.2 x 10^{10} UFC/mL en la suspensión original. De esta suspensión se inocularon 0.1 mL por cada 15 g de sustrato. El estudio se centró en la población recuperable en el suelo a lo largo del tiempo.

Se establecieron cuatro tratamientos, con tres repeticiones, en un diseño completamente al azar. Tratamiento 1 (curativo): se inoculó primero *F. solani* en el tubo con suelo a una concentración de 1 $x10^6$ conidios/g por suelo. Tres días después se inoculó con la bacteria de *B. cereus*. Tratamiento 2 (preventivo): se inoculó primero con *B. cereus* el tubo de suelo y a los, tres días después se inoculó con *F. solani*. Controles: se inocularon en tubos de suelo estériles por separado *B. cereus* y *F. solani*. Durante todo el experimento, los tubos inoculados se incubaron a 28°C y se mantuvieron húmedos a capacidad de campo aplicando agua estéril.

La cuantificación de UFC se realizó a los 3, 6, 10 y 13 días. Esta medición se realizó por triplicado en cada uno de los tratamientos mediante la técnica de dilución decimal seriada de un gramo de sustrato y posterior siembra por el método de difusión en cajas Petri. Los medios de cultivo utilizados fueron agar nutritivo para *B. cereus* y PDA para *F. solani* (Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, 2004). Las cajas Petri se incubaron a 28 °C, los conteos de las colonias presentes se realizaron a las 48 h después de la toma de muestra. Se realizó un análisis de varianza de la evolución temporal de las UFC de ambos microorganismos usando el programa SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g de suelo) permitió observar la dinámica poblacional de *Bacillus cereus* y *Fusarium solani* durante los 13 días de monitoreo. En los tratamientos control (Figura 1A y 1B), ambos microorganismos mostraron el comportamiento típico esperado en un sistema cerrado. La bacteria *B. cereus* presentó una curva de crecimiento característica, con una fase de latencia inicial, un crecimiento exponencial hasta el cuarto día, una fase estacionaria entre los días 5 y 6 y una fase de declive a partir del día 7 (Figura 1B). Este comportamiento era el esperado, ya que el hongo requiere, para un crecimiento óptimo, una temperatura de 25 a 30 °C, un pH entre 6 y 7.5 y disponibilidad de agua (Singh et al., 2017; Yan & Nelson, 2020), condiciones que se mantuvieron durante el experimento.

Efecto inhibitorio en el tratamiento curativo (primero el hongo, luego la bacteria). En el tratamiento curativo (Figura 1C), en el que primero se inoculó *F. solani* y tres días después *B. cereus*, la interacción tiempo ×

microorganismo fue significativa ($p = 0.0003$). A pesar de que *F. solani* fue inoculado primero, *B. cereus* logró controlar su crecimiento. La población de *B. cereus* disminuyó de 40.2×10^6 UFC/g en el día 3 a 9.0×10^6 UFC/g en el día 10, mientras que *F. solani* se mantuvo en niveles bajos (1,287 a 2,294 UFC/g) sin diferencias significativas entre días según la prueba de Tukey ($p > 0.05$). Debido a que los muestreos en este tratamiento se realizaron en días no coincidentes con el tratamiento preventivo (días 5 y 7 en lugar de 6), se promediaron los valores de ambos días para representar el tiempo de 6 días, permitiendo así la comparación entre tratamientos.

El hecho de que *B. cereus* lograra controlar a *F. solani* incluso cuando el hongo ya tenía tres días de ventaja es relevante desde el punto de vista práctico, ya que en condiciones de campo es común que el patógeno se establezca antes de que se aplique el biocontrolador. Este resultado coincide con lo reportado por Mei et al. (2024) y Maharjan et al. (2025), quienes encontraron que cepas de *B. cereus* pueden inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos incluso cuando el hongo ya está establecido, mediante la producción de compuestos volátiles, enzimas líticas y sideróforos. Sin embargo, la disminución de *B. cereus* de 40.2×10^6 a 9.0×10^6 UFC/g sugiere que la bacteria enfrentó dificultades iniciales para adaptarse al medio, probablemente porque *F. solani* ya había colonizado parte del sustrato. A pesar de esto, la población sobreviviente fue suficiente para ejercer el efecto antagónico, lo que indica que existe un umbral poblacional mínimo para el control.

Efecto inhibitorio en el tratamiento preventivo (primero la bacteria, luego el hongo). En el tratamiento preventivo (Figura 1D), donde se inoculó primero *B. cereus* y tres días después *F. solani*, la interacción tiempo × microorganismo fue altamente significativa ($p < 0.0001$), lo que indica que *B. cereus* ejerció un efecto inhibitorio sobre *F. solani*. La población de *B. cereus* se mantuvo en el rango de 0.9×10^6 a 3.8×10^6 UFC/g, mientras que *F. solani* alcanzó un máximo de 1,063 UFC/g al día 10, sin lograr establecerse. La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre las poblaciones de ambos microorganismos en todos los tiempos evaluados ($p < 0.05$).

El tratamiento preventivo mostró un control más eficiente que el curativo, como lo evidencia la mayor significancia estadística ($p < 0.0001$ vs $p = 0.0003$) y la estabilidad de la población de *B. cereus*, que se mantuvo sin disminuciones drásticas. Esto era esperable, ya que al aplicar el antagonista antes que el patógeno, *B. cereus* tiene la oportunidad de colonizar el sustrato, consumir recursos y activar mecanismos de defensa como la producción de metabolitos antimicrobianos mediada por quorum sensing (Andrić et al., 2020; Andrić et al., 2022). Varios autores han reportado que la aplicación preventiva de *Bacillus* spp. es más efectiva para el control de *Fusarium* spp. (Khan et al., 2018; Palazzini et al., 2020; Ma et al., 2022), lo que coincide con nuestros resultados.

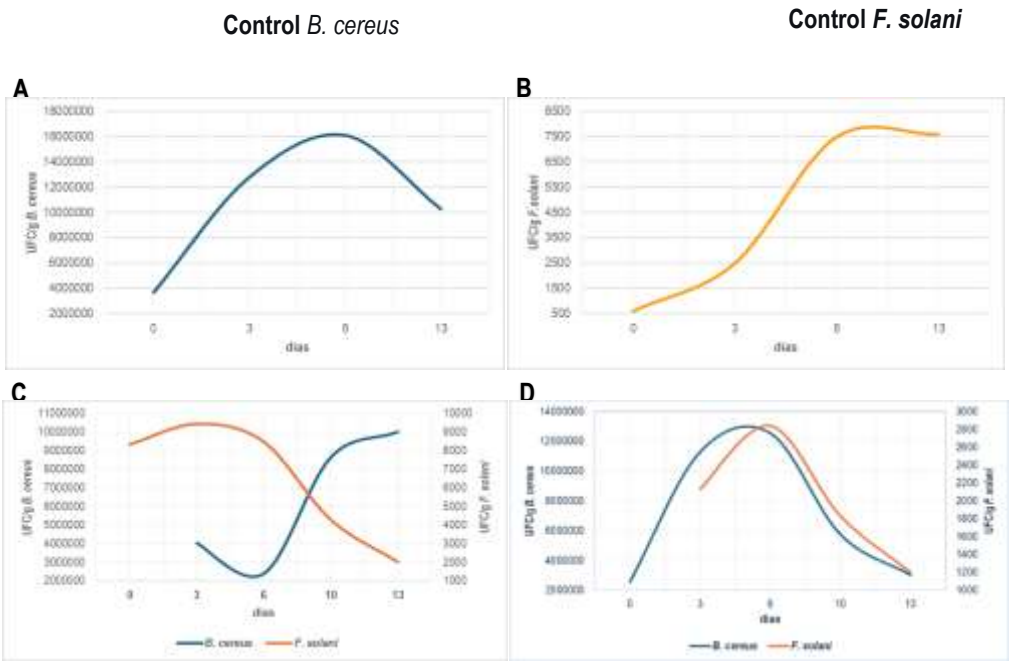


Figura 1. Dinámica poblacional de *Bacillus cereus y Fusarium solani* (UFC/g de suelo) durante 13 días. A: Control *B. cereus*; B: Control *F. solani*; C: Tratamiento curativo (primero *F. solani,* tres días después *B. cereus*); D: Tratamiento preventivo (primero *B. cereus*, tres días después *F. solani*). Cada punto representa la media de tres repeticiones.

Densidad poblacional crítica. Bajo las condiciones de este trabajo, la población mínima de *B. cereus* necesaria para ejercer el control sobre *F. solani* fue de 0.9 × 10^6 UFC/g de suelo, mientras que la población se mantuvo en un máximo de 3.8 × 10^6 UFC/g. Al alcanzar este rango poblacional, es probable que se activen mecanismos dependientes de densidad como el quorum sensing, que desencadenan la producción de compuestos antagónicos. Este rango coincide con lo reportado en la literatura, donde el control eficaz de *Fusarium* con *Bacillus* se logra típicamente con 10^6-10^8 UFC/mL en aplicaciones líquidas (Ma et al., 2022; Palazzini et al., 2022). Es importante destacar que, independientemente de la dosis inicial inoculada, la población de *B. cereus* tendió a estabilizarse en este rango, lo que sugiere que al alcanzar esta densidad se activan mecanismos dependientes de población que desencadenan la producción de compuestos antagónicos.

Además, nuestros datos indican que *B. cereus* requiere alrededor de tres días para detectar al patógeno e iniciar sus mecanismos de control. *Bacillus* percibe a fitopatógenos y competidores a través de moléculas señal como sideróforos y metabolitos fúngicos/bacterianos, lo que dispara rutas de estrés y producción de metabolitos antifúngicos (Andrić et al., 2020; Andrić et al., 2022; Bartolini et al., 2019). Este tiempo de respuesta es razonable para un biocontrolador, ya que en condiciones de campo la aplicación preventiva con al menos tres días de anticipación podría ser una estrategia viable

CONCLUSIONES

En el presente estudio se demostró que *Bacillus cereus* ejerce un efecto inhibitorio significativo sobre el crecimiento de *Fusarium solani* en condiciones de suelo estéril, tal como lo evidencian las interacciones tiempo × microorganismo altamente significativas en los tratamientos preventivo ($p < 0.0001$) y curativo ($p = 0.0003$). La densidad poblacional de *B. cereus* necesaria para el control de los patógenos fue de 0.9×10^6 de suelo, con un máximo de 3.8×10^6 UFC/g de suelo en tratamiento preventivo y de 40.2×10^6 UFC/g, en tratamiento curativo. El efecto inhibitorio se manifestó a partir del tercer día de interacción entre ambos microorganismos. Independientemente de la dosis inicial inoculada, la población de *B. cereus* en el suelo tendió a estabilizarse en un rango entre 0.9 y 3.8×10^6 UFC/g. Estos resultados aportan bases cuantitativas para el diseño de bioplaguicidas a base de *B. cereus*, destacando la ventaja de la aplicación preventiva con al menos tres días de anticipación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrić, S., Meyer, T., & Ongena, M. (2020). *Bacillus* Responses to Plant-Associated Fungal and Bacterial Communities. Frontiers in Microbiology, 11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01350.

Andrić, S., Rigolet, A., Arias, A., Steels, S., Hoff, G., Balleux, G., Ongena, L., Höfte, M., Meyer, T., & Ongena, M. (2022). Plant-associated *Bacillus* mobilizes its secondary metabolites upon perception of the siderophore pyochelin produced by a *Pseudomonas* competitor. The ISME Journal, 17, 263 - 275. https://doi.org/10.1038/s41396-022-01337-1.

Bartolini, M., Cogliati, S., Vileta, D., Bauman, C., Ramírez, W., & Grau, R. (2019). Stress-Responsive Alternative Sigma Factor SigB Plays a Positive Role in the Antifungal Proficiency of *Bacillus subtilis*. Applied and Environmental Microbiology, 85. https://doi.org/10.1128/aem.00178-19.

Chang, W. T., Chen, Y. C., & Jao, C. L. (2007). Antifungal activity and enhancement of plant growth by *Bacillus cereus* grown on shellfish chitin wastes. Bioresource technology, 98(6), 1224-1230. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.005

Cotes, A.M., Fargetton X. y Köhl J. (2018). Diseño conceptual, selección y prueba de concepto de microorganismos biocontroladores en: Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros / Alba Marina Cotes (Editora) Mosquera, (Colombia): Agrosavia, 2 v. (Volumen 2: Aplicaciones y perspectivas - 512 páginas) (Colección Nuevo Conocimiento Agropecuario) ISBN Obra completa(e): 978-958-740-252-0; ISBN Volumen 2(e): 978-958-740-254-4

Farr, D. F. & Rossman, A. Y. (2017). Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Verified March 2, 2018. https://cir.nii.ac.jp/crid/1570009750108021376

García-Bastidas, F.A., van der Veen, A.J.T., Nakasato-Tagami, G., Meijer, H.J.G., Arango-Isaza, R.E. and Kema, G.H.J. (2019). An Improved Phenotyping Protocol for Panama Disease in Banana. Front. Plant Sci. 10: 1006. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01006

Gharsallah, H., Cheffi, M., Mallek, R., Omri, N., Triki, M. A., Öztop, M. H., & Zarai, Z. (2025). Antifungal potential of *Bacillus* strains: implications for biocontrol strategies in food safety and sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology, 16, 1615252. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1615252

Geiser, D. M., Al-Hatmi, A. M., Aoki, T., Arie, T., Balmas, V., Barnes, I., ... & Viljoen, A. (2021). Phylogenomic analysis of a 55.1-kb 19-gene dataset resolves a monophyletic *Fusarium* that includes the *Fusarium solani* species complex. Phytopathology®, 111(7), 1064-1079. https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-20-0330-LE

Jamiołkowska, A. (2020). Natural Compounds as Elicitors of Plant Resistance Against Diseases and New Biocontrol Strategies. Agronomy, 10(2), 173. https://doi.org/10.3390/agronomy10020173

Khan, N., Martínez-Hidalgo, P., Ice, T., Maymon, M., Humm, E., Nejat, N., Sanders, E., Kaplan, D., & Hirsch, A. (2018). Antifungal Activity of *Bacillus* Species Against *Fusarium* and Analysis of the Potential Mechanisms Used in Biocontrol. Frontiers in Microbiology, 9. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02363.

León M., Yaryura P.M., Montecchia M.S., Hernández A.I., Correa O.S., Pucheu N.L., et al. (2009). Antifungal Activity of Selected Indigenous *Pseudomonas* and *Bacillus* from the Soybean Rhizosphere. p.1-9. https://doi.org/10.1155/2009/572049

Leslie, J.F., & Summerell, B.A. (2006). The *Fusarium* laboratory manual. First published:17 May 2006 Print ISBN:9780813819198 |Online ISBN:9780470278376| Copyright © 2006 by Blackwell Publishing https://doi.org/10.1002/9780470278376

Maake, T. W. & Sibisi, P. (2025). Microbial Antagonists for the Control of Plant Diseases in Solanaceae Crops: Current Status, Challenges, and Global Perspectives. Bacteria, 4(3), 29. https://doi.org/10.3390/bacteria4030029

Maharjan, E., Jain, D., Wong, M., Adhikari, R., & Joshi, D. (2025). In vitro antagonistic effects of *Bacillus* species against phytopathogenic fungi. Nepal Journal of Biotechnology. https://doi.org/10.54796/njb.v13i1.356.

Maral-Gül, D., & Eltem, R. (2024). Evaluation of Bacillus isolates as a biological control agents against soilborne phytopathogenic fungi. International Microbiology, 28, 75 - 89. https://doi.org/10.1007/s10123-024-00490-1.

Mei, P., Dou, T., Song, X., & Li, L. (2024). Control of coptis root rot by combination of *Bacillus cereus* isolate Y9 and other antagonistic microorganisms. Journal of Plant Pathology, 106, 1295 - 1309. https://doi.org/10.1007/s42161-024-01685-1.

Mejía-Bautista, M.Á., Reyes-Ramírez, A., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J.M., Borges-Gómez, L.D.C., & Pacheco-Aguilar, J.R. (2016). *Bacillus* spp. en el control de la marchitez causada por *Fusarium* spp. en *Capsicum chinense*. Revista mexicana fitopatología, 34(3): 208-222. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1603-1

Noorani, S., Sardar A. and Naz, F. (2025). Bacterial Antagonists Against Plant Pathogens and Their Mode of Actions. Emerging Research Nexus. 2(1). 85-92. https://doi.org/10.70788/ern.2.1.2025.18

Palazzini, J., Llabot, J., Cantoro, R., Chiotta, M., Allemandi, D., Torres, A., & Chulze, S. (2020). Spray-drying process as a suitable tool for the formulation of *Bacillus velezensis* RC218, a proved biocontrol agent to reduce Fusarium Head Blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. Biocontrol Science and Technology, 30, 329 - 338. https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1709621.

Pane, C., Villecco, D., Campanile, F., & Zaccardelli, M. (2012). Novel strains of Bacillus, isolated from compost and compost-amended soils, as biological control agents against soil-borne phytopathogenic fungi. Biocontrol Science and Technology, 22, 1373 - 1388. https://doi.org/10.1080/09583157.2012.729143.

Pandit, M.A., Kumar J., Gulati S., Bhandari N., Mehta P., Katyal R., Rawat C.D., Mishra V., Kaur J. (2022). Major Biological Control Strategies for Plant Pathogens. Pathogens. 19;11(2):273. https://doi.org/10.3390/pathogens11020273.

Rahimi-Midani, A., Kim, K. H., Lee, S. W., Jung, S. B., & Choi, T. J. (2016). Isolation and Characterization of a Bacteriophage Preying an Antifungal Bacterium. The plant pathology journal, 32(6), 584. https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.07.2016.0153

Ramírez, V.; Martínez, J.; Bustillos-Cristales, M.D.R.; Catañeda-Antonio, D.; Munive, J.A.; Baez, A. (2022). *Bacillus cereus* MH778713 elicits tomato plant protection against *Fusarium oxysporum*. J. Appl. Microbiol., 132, 470–482. https://doi.org/10.1111/jam.15179

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J. et al. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nat Ecol Evol 3, 430–439. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y

Singh, S., Rani, U., Tiwana, U., Singh, D., & Sirari, A. (2017). Investigation of optimum conditions for the growth of *Fusarium solani* EGY1 causing root rot of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Journal of Applied and Natural Science, 9, 2249-2254. https://doi.org/10.31018/jans.v9i4.1519.

Solís, J.D.Á., & Martínez, M.D.J.A. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. Agrociencia, 38(1), 13-22. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238102?

Yan, H., & Nelson, B. (2020). Effect of temperature on *Fusarium solani* and *F. tricinctum* growth and disease development in soybean. Canadian Journal of Plant Pathology, 42, 527 - 537. https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1745893.

Ma, T., Yang, C., Cai, F., Cui, L., & Wang, Y. (2022). Optimizing fermentation of *Bacillus amyloliquefaciens* 3-5 and determining disease suppression and growth in cucumber (*Cucumis sativus*). Biological Control. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105070.

Zhou, H.; Ren, Z.H.; Zu, X.; Yu, X.Y.; Zhu, H.J.; Li, X.J.; Zhong, J.; Liu, E.M. (2021). Efficacy of plant growth-promoting bacteria *Bacillus cereus* YN917 for biocontrol of rice blast. Front. Microbiol., 12, 684888. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.684888

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTAGÓNICA DE *Trichoderma yunnanense* FRENTE A LA MARCHITEZ DEL TRIGO (*Triticum aestivum*) CAUSADA POR *Fusarium* spp.

Vanessa Citlali Guevara- Fonseca[1]; José Gómez- Espinoza[2]; Mariana Quiroz González[1]; Anabel Flores- Lee[1]

[1]Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Abasolo. Blvd. Cuitzeo de los Naranjos #401, Col. Cuitzeo de los naranjos. C.P. 36976, Abasolo, Gto. [2] Tecnológico Nacional de México-Roque, Km 8 carretera J. Rosa-Celaya, C.P. 38110 Celaya, Gto. Autor de correspondencia: anabel.fl@abasolo.tecnm.mx

RESUMEN

El trigo es afectado por enfermedades fúngicas, siendo *Fusarium spp.* uno de los hongos más comunes que atacan a este cultivo. Son las diversas cepas de este patógeno el agente causal de pérdidas de hasta un 90%, por lo cual es de suma importancia buscar una alternativa para ello. El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de antagonismo con el que contaron cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense,* frente a cepas de *Fusarium spp*., las cuales fueron aisladas de plantas de trigo con síntomas característicos de la enfermedad. Se realizó la identificación morfológica de *Fusarium* spp. utilizando cámaras húmedas para poder llevar a cabo su identificación para su posterior confrontación. Se implementó un diseño experimental de cuadros completamente al azar, el cual estaba constituido de 20 bloques con 5 repeticiones cada uno, donde los tratamientos con mayor porcentaje de indivisión fueron para la cepa de *Trichoderma yunnanense* T3 la cual, para el día catorce, contaba con 64.54% y la cepa con menos porcentaje fue para la cepa T1 con 60.10%, el cual no mostró diferencias significativas hablando estadísticamente. Sin embargo, para las cepas del hongo patógeno se mostraron diferencias en el cual la cepa con mayor inhibición fue para la cepa de *Fusarium sp.* 1/M3-R2 con 39.48% y para la cepa con menor porcentaje fue para *Fusarium* 3/ M1-R2R con 32.41%, lo cual muestra que el uso de *Trichoderma yunnanense* es una alternativa viable para el control de hongos fitopatógenos.

Palabras clave: *patógenos, enfermedades fúngicas, control biológico, micoparasitismo.*

ABSTRACT

Wheat is highly susceptible to fungal diseases, being *Fusarium* spp. one of the most common fungi attacking this crop. Various of this pathogen strains are the losses causal agent up to 90%, making it crucial to find an alternative. The research objective was to evaluate the antagonism level exhibited by four *Trichoderma yunnanense* strains against Fusarium spp. strains, which were isolated from wheat plants exhibiting the disease characteristic symptoms. Fusarium spp. morphological identification was performed using humid chambers to

facilitate identification for subsequent comparison. A completely randomized square experimental design was implemented, consisting of 20 blocks with 5 replicates each. The treatments with the highest inhibition percentage were for *Trichoderma yunnanense* strain T3, which, by day fourteen, had 64.54% inhibition, while the strain with the lowest percentage was T1 with 60.10%, which did not show statistically significant differences. However, differences were observed for the pathogenic fungal strains, with the strain showing the highest inhibition being *Fusarium* sp. 1/M3-R2 at 39.48%, and the strain with the lowest percentage being *Fusarium* 3/M1-R2R at 32.41%. This shows that *Trichoderma yunnanens*e use is a viable alternative for the phytopathogenic fungi control.

Keywords: *pathogens, fungal diseases, biological control, mycoparasitism*

INTRODUCCIÓN

El trigo es un cereal originario del oeste de Asia que se cultiva desde hace más de 6000 años (Abbate, 2017). Es uno de los cultivos más sembrados a nivel global, en el hemisferio norte se siembra el 90% del trigo, se produce el 93% esto debido a que este cereal posee características que lo hacen único, ya que la harina posee gluten, sustancia gelatinosa que se forma a partir de las proteínas del grano (Abbate, 2023). La Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] reportó que, en 2024, México contó con una producción de 2,648,377.74 toneladas de trigo, donde el estado de Guanajuato aportó una cosecha de 200 678.20 toneladas y un valor de producción de 1 317 271.57 miles de pesos, ocupando el séptimo lugar nacional en producción de trigo (SIAP, 2024). Este cultivo es uno de los más afectados en todo el mundo debido a distintos microorganismos fitopatógenos, especialmente por hongos que afectan su productividad y rendimiento hasta un 89%. En este cereal, se han identificado diversos grupos de hongos que provocan problemas como la pudrición de la raíz, el tallo y la corona (PRC) (Suaste et al., 2020). Esta enfermedad ataca diferentes tipos de cereales, sin embargo, ha sido más común en áreas trigueras; su sintomatología consta de la aparición de manchas oscuras especialmente en los entrenudos en la corona y raíces, siendo asociados con diversos tipos de especies de *Fusarium* (Xiong et al., 2023). Estos son hongos saprófitos provocan diversas enfermedades, debido a su producción de micotoxinas, teniendo por huéspedes especialmente al cultivo del trigo, destacando este entre los cereales más afectados (Mokobi, 2021). Como medida sustentable en la protección de cultivos ante enfermedades, existen diversos hongos que son utilizados como control biológico, siendo el género *Trichoderma* spp., el tipo de agente biocontrolador más comúnmente utilizado contra algunos hongos fitopatógenos, ya que ha demostrado que cuenta con capacidad antagónica contra hongos causantes de la marchitez y pudrición en la zona radicular (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2015). El uso de *Trichoderma spp.* resulta como una alternativa sostenible y eficaz para reducir el uso de fungicidas químicos. *Trichoderma yunnanense* actúa como promotor de crecimiento vegetal y aporta

actividades antagónicas contra hongos fitopatógenos (Karmakar et al., 2021). El propósito de esta investigación se enfocó en analizar y demostrar el efecto antagónico que pueden presentar cepas de *Trichoderma yunnanense* al confrontarse con cepas de *Fusarium* spp., para llegar a la conclusión y comprobación de la eficiencia con la que cuenta este tipo de hongos benéficos al ser utilizados como una alternativa sustentable en el control de enfermedades en el cuello y raíz del cultivo de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se estableció en el municipio de Abasolo Guanajuato, en el Instituto Tecnológico Superior de Abasolo (ITESA), en el área de laboratorio con coordenadas de 101° 32´ 39.65´´ O 20° 26´.22 13´´ N y una altitud sobre el nivel del mar de 1760m, con condiciones climáticas templado semicálido subhúmedo. En esta investigación se emplearon cuatro cepas de *Fusarium* spp., obtenidas de plantas enfermas de trigo y cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense*, previamente aisladas e identificadas en un proyecto de investigación realizado previamente por Mendoza Martínez Laura Alejandra y Enríquez Salazar Suleyma Yamileth.

Se hizo uso de ocho cepas las cuales fueron, cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense* y cuatro cepas de *Fusarium* spp., las cuales se cultivaron en cajas Petri con medio de cultivo agar papa y dextrosa (PDA), donde se realizaron confrontaciones para observar su interacción entre las cepas. El diseño experimental empleado fue un Diseño Completamente al Azar (DCA). Este diseño, fue organizado de manera aleatoria, el cual incluyo cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, resultando con un total de veinte bloques. Cada una de las unidades experimentales estuvo conformada por cuatro repeticiones de cada tratamiento. Estas fueron colocadas en el área de laboratorio a temperaturas de 28°- 30°.

Cuadro 1. Tratamientos.

Número de tratamientos	Tratamientos	Descripción
1	T1	*T* 2 / *Fusarium*
2	T2	*T3 / Fusarium*
3	T3	*T4 / Fusarium*
4	T4	*T testigo / Fusarium*
5	T	*Fusarium*

T3/R1 con un porcentaje de 53. 25 %, T4/A+C con 52.25 %, T1/Testigo con 51.02 % y T2/R4 con 50.97%.

Resiembra de cepas de *Trichoderma*, en cajas Petri con medio de cultivo estéril se, colocaron los cortes de 1 cm² de medio de cultivo con micelio de cada una de las ocho cepas aisladas en medio de cultivo PDA, las cuales se colocaron en el centro de cajas Petri con medio de cultivo PDA estéril. Luego, se sellaron con papel Parafilm y se incubaron a temperaturas de 25°C – 30°C hasta que se desarrollaron completamente.

Se realizó una visita a en una zona productora de San José de Peralta, Abasolo, Guanajuato, donde se recolectaron tres plantas de trigo enfermas seleccionadas por síntomas como enrollamiento foliar, marchitez y manchas marrones en la raíz las cuales fueron llevadas al área de laboratorio, donde se lavaron para eliminar el suelo esto para iniciar con el aislamiento del patógeno, posterior a eso se seleccionaron cortes de tejido de 5-10 mm del borde de la lesión infectada. Estos cortes se sometieron a un triple lavado: dos lavados con agua purificada y uno con solución de cloro al 10% durante un minuto. Luego, se secaron con papel estéril y se colocaron en medio de cultivo PDA (4 trozos por caja Petri). Se incubaron a 25°C – 28°C durante 2 – 3 hasta que se desarrollaron los patógenos para poder obtener las cepas más puras.

Para la purificación del patógeno aislado, se observaron las colonias de patógenos desarrolladas y se seleccionaron aquellas que estaban libres de contaminación y se encontraban individuales. Se marcaron las colonias seleccionadas y se verificó que el patógeno estuviera puro. Luego, con ayuda de pinzas esterilizadas, se tomó un trozo de medio PDA con la colonia y se transfirió a una caja Petri con agar estéril en un punto medio. Este proceso se repitió para todas las colonias seleccionadas.

Para la identificación sé empleó la metodología de Agrios (2005) para identificación del patógeno. Se prepararon cámaras húmedas, donde se utilizó papel estéril el cual se humedeció, donde colocaron portaobjetos estéril para posteriormente colocarle un trozo de agar con micelio del patógeno, colocándole un cubreobjetos estéril, después se selló la caja Petri con papel fil. Se incubaron en temperaturas de 25°C - 28°C durante dos semanas y se observaron con ayuda del microscopio para determinar la morfología del patógeno.

Se realizó un bioensayo en placas Petri con medio de cultivo PDA, colocando discos de agar con micelio de *Fusarium* spp*. y Trichoderma yunnanense* en extremos opuestos, esto para los tratamientos para el testigo solo se colocó de un extremo un disco con micelio de Fusarium spp. Los resultados se expresaron como porcentaje del área ocupada por *Trichoderma* sobre el área del patógeno (Pérez et al., 2020).

Se empleó la fórmula PICR= [(R1-R2) / R1] x100; donde:
R1 es el crecimiento radial del testigo
R2 el crecimiento radial del patógeno en los tratamientos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de varianza (cuadro 2), este mostró diferencias altamente significativas esto para la fuente de variación de los tratamientos, lo que muestra que el porcentaje de inhibición de *Fusarium* varía considerablemente según el tratamiento aplicado. Sin embargo, para el caso de la interacción Fus*Trat no fue

significativa. El Coeficiente de Variación (13.81%) lo cual demuestras que los resultados obtenidos del análisis demuestran que el ensayo realizado fue eficaz.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza.

Fuente de variación	Gl	% de inhibición
Fusarium (Fus)	3	1.8539467
Tratamientos (Trat)	4	188.8902165**
Fus*Trat	12	0.2915282
Error		0.6907375
C.V. (%)		13.81228

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad.

Según los datos obtenidos del dìa 14, se obtuvieron los porcentajes de inhibiciòn con ayuda del progama SAS versión 9.4, la prueba de comparación de medias los tratamientos marcados con la letra **"**a", que en este caso fueron los cuatro tratamientos, son estadísticamente iguales entre sí. Sin embargo, se observó que el tratamiento con mayor porcentaje de inhibición fue para T3/R que cuenta con un 64.56% y el más bajo fue para T1/T3 con un 60.10% (Cuadro 3).

Estos datos coinciden con la investigación realizada por Zubieta et al. (2021), ya que destacan que los antagonismos evaluados enfrentando las cepas promisorias como biocontroladores, en un 66,5% fueron dominados por las cepas del hongo *Trichoderma* sp. y en el 23,2% por las cepas del hongo *Aspergillus* sp. De acuerdo con la literatura, esto puede explicarse por la cantidad de enzimas hidrolíticas tales como las lignocelulolíticas, quitinolíticas, proteolíticas, y glucanolíticas producidas por *Trichoderma* sp., las cuales son excretadas como complejos enzimáticos y están involucradas en procesos como autólisis, germinación de esporas, ramificación y desarrollo de micelios, crecimiento de hifas, nutrición, separación de células y micoparasitismo, procesos esenciales en el control biológico. Los datos coinciden con la investigación de Rubio et al. (2021) ya que muestran que en su en el análisis de covarianza de *T. asperellum* (TJ) y *T. harzianum* (TP) frente a *F. oxysporum* no hubo diferencias significativas. La confrontación de TJ presentó 70.5% de inhibición, no obstante, TP presentó y un 69.2 % de inhibición, los cuales observaron que ambos aislados cubrieron la mitad de la superficie de la caja Petri en el día tres de la evaluación, gracias a su rápido crecimiento, competencia por espacio y nutrientes. Así mismo, se clasifican como clase dos donde *Trichoderma* sp. crece dos terceras partes de la superficie del medio; es decir, que este hongo cubre el 65% de la caja Petri. Esto mostró que el uso de *Trichoderma* como agente de biocontrol representa una alternativa viable, por ser eficaz, fácil de producir a gran escala, la mayoría son especies cosmopolitas y presentan gran capacidad de parasitar; además compiten por nutrientes o producen compuestos que resultan antagónicos para una gran variedad de hongos fitopatógenos tales como los géneros *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Pythium* spp., entre otros (Rodríguez y Wang, 2020).

Cuadro 3. Tratamientos con su nivel de inhibición del día 14.

Tratamientos	% de inhibición
T3/R4	64.54035849 a
T4/AC	63.21457956 a
T2/R4	62.93121849 a
T1/testigo	60.10705241 a
Testigo	0 b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

Para el caso de la inhibición de las cepas de *Fusarium* spp*.,* se realizó el mismo análisis como se muestra en el Cuadro 3, donde se mostró que estadísticamente hubo diferencias significativas, el porcentaje con mayor inhibició fue para *Fusariun* 1/M3-R2 con 39.48% y el más bajo fue para la cepa 2 / M2-R2R vcon 32.41%. Sin embargo, para el caso de 2/M1-R2B y 4/M2-R1, mostró que hay similitud entre estas cepas, ya que se presentaron porcentajdes de inhibición de *Fusarium 2* con un 35.06% y para *Fusaruium* 4 con un 34.02 %, siendo la 3/M1-R2R la cepa que obtuvo menor inhibición, contando con 32.41%. Lo anterior determina que el uso de *Trichoderma yunnanence* ayudó en control de las cepas de *Fusarium* spp*.,* demostrando que el uso de este género es una buena alternativa como agente de control biológico.

Cuadro 4. Cepas de Fusarium spp., y su porcentaje de inhibición del día 14.

Fusarium	% de inhibición
Fusarium 1/ M3- R2	39.4852238 a
Fusarium 2/ M1-R2B	35.0696336 ab
Fusarium 4/ M2-R1	34.029826 ab
Fusarium 3/ M1-R2R	32.4130242 b

CONCLUSIONES

Se demuestra que el uso de *Trichoderma yunnanense* es una alternativa biológica viable y efectiva para controlar el crecimiento de *Fusarium spp*. Los resultados obtenidos muestran que las cepas de *Trichoderma* con mayor efectividad T3/R4 ya que obtuvo un porcentaje mayor de 64.54%. En cuanto a la capacidad de inhibición, todas las cepas de *Trichoderma* mostraron ser estadísticamente similares en su capacidad de frenar al patógeno, superando el 60% en todos los tratamientos. Respecto al impacto en el patógeno, se observó que este hongo benéfico redujo significativamente el crecimiento de las diferentes cepas de *Fusarium* aisladas de plantas enfermas, logrando porcentajes de inhibición de hasta 39.48% en la cepa más sensible.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, el apoyo brindado para llevar a cabo el presente proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbate, P. E. (2017). El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo. En *Manual del cultivo de trigo* (pp. 7-21). International Plant Nutrition Institute https://www.researchgate.net/publication/320465244_El_trigo_su_difusion_importancia_como_alimento_y_consumo

Abbate, P. E. (2023). Trigo como alimento: Su cultivo y producción en Latinoamérica. *Cultivos de Invierno - Informes Técnicos de INTA Balcarce*, *2*(1). Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. ISSN 2953-5115https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15210/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Abbate_PE_Trigo_alimento_cultivo_producci%C3%B3n.pdf?sequence=1

Agrios, N. G. (2005). *Plant Pathology*. 5 ed. Elsevier Academic Press.

Manayay, C. A. L., Córdova, L. M., García, J. W., & Vásquez, J. M. (2016). Efecto antagónico de una cepa de *Trichoderma sp.* sobre *Fusarium sp.* en planta de tomate Río Grande (*Solanum lycopersicum*). *UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura, 5*(1), 64-68. https://www.redalyc.org/journal/5217/521753139008/html/

Michel-Aceves, A. C., Hernández-Morales, J., Toledo-Aguilar, R., Sabino López, J. E., & Romero-Rosales, T. (2019). Capacidad antagónica de *Trichoderma spp.* nativa contra *Phytophthora parasitica* y *Fusarium oxysporum* aislados de cultivos de jamaica. *Revista Fitotecnia Mexicana, 42*(3), 235-241. https://scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n3/0187-7380-rfm-42-03-00235.pdf

Mokobi. (25 de mayo, 2021). *Fusarium* spp. https://microbenotes.com/fusarium-spp/

Rodríguez. D., y Wang, W. A. (2020). Efectividad a nivel in vitro de *Trichoderma* spp. nativos e importados contra Fusarium oxysporum. (2), 43-55. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242020000200109#B35

Rubio,T. S., Osorio, H. E., Estrada,D. B., Silva, E. J. H. T., Rodríguez, M. D. L., y Nava,J. R. A. (2021). Biocontrol *in vitro* de *Fusarium oxysporum* y *Dickeya chrysanthemi* con antagonistas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *39*(3), 478-490. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092021000300515

SAS Institute (2022) SAS/STAT® User´s Guide. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2026). https://www.gob.mx/siap/articulos/trigo-grano- dando-de-comer-a-mexico

Suaste, F. M. del P., Iturriaga, D. G., Solís, M. E., Raya, P. J. C., Ramírez, P. J. G., y Mariscal, A. L. A. (2020). Resistencia a *Fusarium* causante de pudriciones en trigo: actualidad y perspectivas para su uso en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11*(2), 1-10. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007093420200002004 05#B34

Xiong, Y., McCarthy, C., Humpal, J., y Percy, C. (2023). A review on common root rot of wheat and barley in Australia. *Plant Pathology*, 72(8), 1347-1364, 72(8),1347-1364. https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppa.13777

Zubieta, C. D. A., Echeverry, C. L. C., y Zafra, M. C. A. (2021). Antagonismo *in vitro* por consorcios *en* de *Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp. contra el fitopatógeno *Sclerotinia* sp. *Biotecnología el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *19*(1), 16-31. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612021000100016

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

FRESA *(Fragaria x ananassa)* VAR. VALIANT EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, SIMBIOSIS CON *Trichoderma* PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

Guillermo Enrique Cruz Nicanor[1]; Héctor Ángel Hernández Jaral[1]; Keyla Alejandra Piñones Ramírez[1]; Pablo Román Rivera Cortez[1]; Mabiel Reyes Fuentes[2]; Anabel Flores Lee[3]; Berenice Rivera Cortez[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2]Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3]Maestría en Ciencias Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Abasolo, Guanajuato CP. 36976, México, [2]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La fresa (*fragaria x ananassa*) comercial es un híbrido entre especies de Chile y Norteamérica. En México es un cultivo muy importante, Guanajuato aporta el 15.5% de la producción nacional, destacando la var. Valiant debido a su resistencia y firmeza es ideal para la exportación, ante el estrés hídrico que afecta al 72% del territorio mexicano, la acuaponía surge como solución sostenible, ahorrando hasta un 90% de agua respecto a la agricultura tradicional, permitiendo obtener pescado y vegetales en un mismo sistema, las fresas requieren nutrientes específicos según su etapa fenológica, fósforo y calcio en trasplante, nitrógeno en crecimiento, potasio en floración y fructificación, el hongo benéfico Trichoderma favorece la absorción de nutrientes y protege raíces de patógenos. El objetivo de este estudio fue evaluar cómo la inoculación con Trichoderma afecta el desarrollo fenológico y la supresión de enfermedades radiculares en fresas var. Valiant cultivadas en un sistema acuaponía de recirculación cerrada. El análisis estadístico mostró que el factor fecha de muestreo tuvo un efecto altamente significativo sobre la altura y el grosor del tallo, con la Fecha 1 registrando valores superiores (86.8 cm y 6.65 cm) respecto a la Fecha 2 (44.2 cm y 1.57 cm). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin Trichoderma para ninguna variable. Se concluye que las condiciones asociadas al momento de evaluación influyeron marcadamente en el crecimiento vegetativo, mientras que la inoculación con Trichoderma en las dosis y tiempos aplicados no generó una respuesta diferenciable en el desarrollo de las plantas.

Palabras clave: *fresa (fragaria x ananassa) var. Valiant, Trichoderma, acuaponía, nutrientes,desarrollo fenologico*

ABSTRACT

The commercial strawberry is a hybrid between species from Chile and North America. In Mexico, it is a very important crop; Guanajuato contributes 15.5% of national production, highlighting the Valiant variety due to its resistance and firmness, making it ideal for export. Faced with water stress that affects 72% of Mexican territory,

aquaponics emerges as a sustainable solution, saving up to 90% of water compared to traditional agriculture, allowing the obtaining of fish and vegetables in the same system. Strawberries require specific nutrients according to their phenological stage: phosphorus and calcium in transplanting, nitrogen in growth, potassium in flowering and fruiting. The beneficial fungus *Trichoderma* promotes nutrient absorption and protects roots from pathogens. The objective of this study was to evaluate how inoculation with Trichoderma affects the phenological development and suppression of root diseases in Valiant strawberry varieties grown in a closed recirculation aquaponics system. The sampling date factor significantly affected plant height and stem thickness (Date 1: 86.8 cm and 6.65 cm vs. Date 2: 44.2 cm and 1.57 cm), while no significant differences were found between treated and untreated plants for any variable. The results indicate that environmental conditions linked to the evaluation period strongly influenced vegetative growth, whereas Trichoderma application at the tested dose and frequency did not produce a measurable effect on plant development.

Keywords: strawberry (Fragaria x ananassa) var. Valiant, Trichoderma, aquaponics, nutrients, phenological development.

INTRODUCCIÓN

Las variedades cultivadas comercialmente son por lo general híbridos entre la especial (*Fragaria x chiloensis*) originaria de chile y cultivada por los mapuches antes de la conquista y la especie (*Fragaria virginiana)* nativa de Norteamérica, de sabor intenso, ambas llegaron a Europa en los siglos XVI y XVII, el hibrido (*fragaria x ananassa*) surgió accidentalmente en Francia en la década de 1760 (Pineda-Rojas, 2025), el cultivo de fresa (*fragaria x ananassa*) en México representa una actividad agrícola de alta relevancia económica, la producción de fresa en México fue de 696, 113 t, siendo Guanajuato el tercer lugar, contribuyendo con el 15.5% de la producción total (SIAP, 2024), dentro de las variedades adaptadas a condiciones templadas y de alta demanda comercial destaca la var. Valiant, reconocida por su resistencia a enfermedades foliares, frutos de gran tamaño y firmeza, ideales para el mercado internacional de exportación, donde Estados Unidos es el principal socio comercial (CFIA, 2023).

En México la acuaponía está tomando relevancia como una solución innovadora, debido a la problemática como es el estrés hídrico que afecta al 72% del territorio y la necesidad de producir alimentos de manera sostenible, uno de los beneficios claves son que ahorra hasta un 90% en comparación con la agricultura tradicional (Sánchez-Morales, 2024), la acuaponía produce alimentos sin químicos y permite obtener dos fuentes de ingreso en un mismo espacio peces y vegetales, los sistemas acuapónicos demandan un control de calidad del agua menor frecuencia en comparación con la hidroponía, esto se debe a que la alimentación diaria de los peces aporta un flujo constante de nutrientes a las plantas, lo que evita la necesidad de vaciar y reemplazar

soluciones nutritivas o de ajustar los niveles de nutrientes, como si ocurre en los sistemas hidropónicos (Ayipio, 2019).

Las etapas fenológicas de la fresa comprenden desde el establecimiento hasta la cosecha, cumpliendo un ciclo productivo de 9 a 10 meses, las fases abarcan y necesitan principalmente los siguientes nutrientes: trasplante/establecimiento: fosforo, calcio, desarrollo vegetativo: nitrógeno, magnesio, calcio, floración: potasio, nitrógeno, calcio, magnesio, fructificación y cosecha: potasio, fosforo, nitrógeno, las etapas pueden tener variación en duración, siendo la fase de fructificación y engrosamiento una de las que toma más tiempo (Dixon, 2023). (*Trichoderma yunnanense*) es un género de hongos benéficos que viven de manera natural en el suelo. Se emplean con frecuencia en la agricultura como bioestimulantes y para el control biológico de plagas. Estos hongos resguardan las raíces de las plantas mediante tres acciones principales: combatiendo hongos dañinos a través del microparasitismo, favoreciendo la asimilación de nitrógeno, fosforo, potasio y promoviendo el desarrollo de las raíces (Patloková, 2024). Por lo cual el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación con Trichoderma determinando los efectos sobre el desarrollo fenológico y supresión de patógenos radiculares en plantas de fresa var. Valiant cultivadas en un sistema acuapónico de recirculación cerrada. Por lo anterior, determinar la interdependencia de la aplicación de Trichoderma sobre la incidencia de enfermedades radiculares en el sistema de recirculación y confirmar si la variedad tolera la saturación hídrica constante y cuantificar el rendimiento de frutos en las plántulas inoculadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área acuícola en el complejo ubicado en la unidad SABI (sistema acuapónico de baja intensidad) del Tecnológico Nacional de México Campus Roque (TecNM-Roque), ubicado en el estado de Guanajuato, México 20.583556500427132, -100.82715532276465.

Se trasplantaron 38 plántulas con la inoculación del *Trichoderma yunnanense* de fresa var. Valiant en vasos de plastico previamente desinfectados con 3 tipos diferentes de sustratos (fibra de coco, perlita, tezontle), este sistema cuenta con un tanque con 20 peces de la especie tilapia que proporcionaran los nutrientes como lo son nitrógeno y fosforo los cuales se transforman en una solución nutritiva completa para las plántulas, donde las plantas testigo se dejaron sin tratamiento, la primer semana, las otras 35 plantas inocularon con Trichoderma cada 20 días y se observaron durante las siguientes 6 semanas.

Se evaluó cepa de *Trichoderma yunnanense* con una dosis de dos granos por vaso, se pusieron en el sistema de recirculación cerrado, después se observó el desarrollo fenológico de las plántulas, para analizar su crecimiento y la toma de datos de las variables de rendimiento. En un diseño experimental completamente al

azar, se evaluaron las siguientes variables: número de plantas, longitud de planta, numero de hojas, diámetro de tallo, flores y frutos, la longitud de planta se tomó con un vernier, el número de hojas se realizó enumeración manual, diámetro de tallo se utilizó vernier, flores por medio de recuento manual y frutos se efectuó inspección visual con conteo, las evaluaciones se hicieron semanalmente.

Variables evaluadas. Basado en los resultados del procedimiento GLM (Modelo Lineal General) se evaluaron cuatro variables dependientes: ALTPLN (Altura de planta, GROTALL (Grosor del tallo), HOJAS (Numero de hojas) y FLOR (numero de Flores). Los factores fueron FECHAS 1 y 2, TRATAMIENTO T1 y TE y su interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables que mostraron diferencias significativas (P > F < 0.05) para al menos un factor son: Altura de la planta (ALTPLN), factor FECHA, altamente significativo (P > F < 0.0001), Factor TRATAMIENTO. El factor fecha mostro un efecto altamente significativo (p < 0.01) sobre la altura de planta y el grosor del tallo, mientras que el factor tratamiento no fue significativo para ninguna de as variedades evaluadas. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por barros Mainardi et al. (2015), quienes señalaron que al variar la fecha de plantación se modifica significativamente el crecimiento vegetativo y el desarrollo de nuevas coronas frutillas, debido a la interacción del genotipo con las condiciones térmicas y fotoperiódicas. Asimismo, López Ramírez et al. (2023) destacan la complejidad de la respuesta de la fresa a estímulos ambientales documentando que no todas las variables morfológicas responden de la misma manera ante un mismo factor. Por otro lado, la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos TE y T1 es un hallazgo relevante, aunque no inusual, en un estudio sobre fertilización orgánica en fresa, se encontró que, si bien el numero de hojas mostro una variación altamente significativa, otras características de crecimiento también puede presentar variaciones no significativas dependiendo de la naturaleza de los tratamientos y la variedad dentro de los grupos (Mutua et al. 2024).

Cuadro 1. Análisis de Varianza de la aplicación de *Trichoderma* en fresa.

Fuente	Gl	AP	GT	H	F
Fecha	1	18741.32009**	264.2730195**	7.79545455ns	0.12698413ns
Tratamiento	1	123.92251ns	64.3352417ns	14.86616162ns	1.14285714ns
Error	39	491.47396	27.630882	15.7072650	0.94505495
C.V.		32.6	19.2	42.9	64.8

FV = Fuente de variación; gl = Grados libertad; 1 = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05): ** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01); ns = No significativo (P≥ 0.05)

La prueba de comparación de medias revelo que la fecha 1 fue superior a la fecha 2. La altura de la planta alcanzo 86.8 cm en la fecha 1 frente a 44. 2 cm en la fecha 2, mientras que el grosor del tallo fue 6.65 cm contra 1.57 cm. Estos resultados demuestran que las condiciones agrupadas en la Fecha 1 favorecieron un crecimiento vegetativo más vigoroso. La relación directa entre un tallo más grueso y una mayor capacidad de

la planta para sostener biomasa (hojas, flores y frutos) está bien documentada. Por ejemplo, se ha reportado que las plantas hijas de fresa provenientes de estolones con mayor diámetro de tallo resultan en un diámetro de corona mayor y un mayor desarrollo floral después del trasplante (Durner et al., 2000).

La marcada diferencia en el grosor del tallo (aproximadamente cuatro veces mayor) sugiere que la Fecha 1 permitió que las plantas alcanzaran un estado de desarrollo estructural más avanzado. Este parámetro es un indicador robusto de vigor y capacidad productiva potencial. Las plantas con tallos más gruesos suelen tener sistemas vasculares más desarrollados, lo que facilita un mejor transporte de agua y nutrientes, impactando positivamente en el crecimiento general y el rendimiento futuro. La superioridad de la Fecha 1 es consistente con los hallazgos de Khalid et al. (2016) en el estudio "Cultivar and planting date effects on the growth, yield and quality of strawberries in the Western Cape, South Africa", donde se observó que la fecha de plantación afectaba significativamente el número de coronas, flores y el rendimiento, dependiendo de la variedad utilizada.

Cuadro 2: Cuadro de comparación de medias por fecha de aplicación.

Fecha	AP	GT	H	F
1	86.829a	6.650a	9.750a	1.5714 a
2	44.174b	1.574b	8.579a	1.0000 a

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; 1 = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos TE y T1 para ninguna de las variables analizadas. Aunque numéricamente el tratamiento TE presentó valores más altos en Altura de planta (73.47 cm vs 63.63 cm) y Grosor de tallo (6.38 cm vs 2.85 cm), la alta variabilidad dentro de los grupos impidió que estas diferencias fueran estadísticamente significativas. Esto implica que, bajo las condiciones experimentales de este estudio, ambos tratamientos produjeron un desempeño equivalente en las variables vegetativas y reproductivas evaluadas. Esta falta de respuesta podría deberse a que las concentraciones o los momentos de aplicación de los tratamientos no fueron lo suficientemente diferenciales para superar la heterogeneidad presente en el material vegetal o las condiciones de cultivo. Es posible que las dosis empleadas estuvieran por debajo de un umbral mínimo para generar una respuesta discernible, o que los caracteres medidos no sean los más sensibles a la naturaleza específica de estos tratamientos. Investigaciones previas han utilizado ANOVA y pruebas post-hoc como Tukey para comparar medias entre tratamientos en fresa, encontrando a menudo que no todas las concentraciones o tipos de aplicaciones generan diferencias significativas en todos los parámetros de crecimiento (Sison & Marcelino, 2024). En el estudio de Mutua et al. (2024), por ejemplo, aunque se detectaron efectos significativos generales del tratamiento, no todos los pares de tratamientos mostraron diferencias significativas entre sí, resaltando la importancia de realizar comparaciones múltiples para identificar tratamientos con desempeño estadísticamente similar.

Cuadro 3: Cuadro de comparación de medias por tratamientos

Tratamiento	AP	GT	H	F
TE	73.474a	6.379ª	9.895ª	1.8571 a
T1	63.633a	2.846b	8.708ª	1.2222 a

Los valores en la misma columna con las mismas letras son estadísticamente iguales; TE = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.

CONCLUSIONES

El principal factor que influyó en el crecimiento vegetativo, medido como altura de la planta y grosor del tallo, fue la fecha de muestreo, siendo la Fecha 1 la que presentó condiciones significativamente más favorables para un mayor desarrollo. Este hallazgo sugiere que el momento de evaluación o las condiciones ambientales asociadas a la Fecha 1 fueron críticas para el crecimiento inicial. Los tratamientos evaluados (T1 y TE) no generaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables de crecimiento y desarrollo analizadas. Por lo tanto, no se puede recomendar un tratamiento sobre el otro basándose en los parámetros medidos en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA). (2023). UCD Valiant [Descripción de variedad vegetal. Número de solicitud: 21-10409]. https://active.inspection.gc.ca/english/plaveg/pbrpov/cropreport/str/app00012052e.shtml.

Ayipio, E., Wells, D. E., McQuilling, A., & Wilson, A. E. (2019). Comparisons between aquaponic and conventional hydroponic crop yields: A meta-analysis. Sustainability, 11(22), 6511.

Barros Mainardi, C., et al. (2015). Comportamiento productivo de variedades de frutilla (Fragaria × ananassa Duch.) en función de la fecha de plantación. Agrociencia Uruguay, 19(1), 1-9. https://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100001.

Demera Martínez, D. M. (2024). *Diferentes métodos de siembra hidropónica y sus beneficios* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024).

Dixon, E., Strik, B., Fernandez-Salvador, J., & DeVetter, L. W. (2023). Guía de manejo de nutrientes para el cultivo de fresa en Oregon y Washington (EM 9234-S). Oregon State University Extension Service.Calderón, M. Á. A. (2022). *Control de plagas y enfermedades en cultivos acuapónicos: Perspectivas y oportunidades para una producción limpia* (Doctoral dissertation, Universidad Militar Nueva Granada).

Durner, E. F., Poling, E. B., & Maas, J. L. (2000). Strawberry daughter plant size alters transplant growth and development. HortScience, 35(3), 469-472.

Enrique, B. M. L. (2024). alternativas ecológicas en la producción hidropónica de lechuga (Lactuca sativa L) bajo un sistema nft (Doctoral dissertation, universidad agraria del ecuador).

Fernández, C. R. (2025). Acuaponía acoplada y desacoplada: Tipos, Beneficios y Usos en la Producción Sostenible.

Figueroa, F. L., Abdala, R. T., Korbee, N., Medrano, E., Bautista, B., García-Márquez, J., & Arijo, S. Usos de microalgas y bacterias en la producción de piensos funcionales para la acuaponía desacoplada de peces, plantas y microalgas.

Khalid, S., et al. (2016). Cultivar and planting date effects on the growth, yield and quality of strawberries in the Western Cape, South Africa. South African Journal of Plant and Soil, 33(4), 271-277.

López Ramírez, M. et al. (2023). Respuesta morfológica de plántulas de fresa a diferentes dosis de bioestimulante. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14(1), 10-20.

Mutua, F., et al. (2024). Influence of organic fertilization on growth and yield of strawberry (Fragaria × ananassa) in Kabete and Mbooni areas, Kenya. Journal of Agriculture and Food Research, 15, 100912.

Patloková, K., & Pokluda, R. (2024). Optimization of Plant Nutrition in Aquaponics: The Impact of Trichoderma harzianum and Bacillus mojavensis on Lettuce and Basil Yield and Mineral Status. Plants, 13(2), 291.

Pineda-Rojas, T. V., Rangel-Castillo, A. E., Figueroa-Vega, N. G., Hernández-Ruiz, J., Ángel-Hernández, A., & Ruiz-Nieto, J. E. (2025). Fragaria: la variedad genética detrás de la fresa. Jóvenes en la Ciencia, 34, 1-7.

Sánchez-Morales, D. J., Rubiños-Panta, J. E., Crespo-Pichardo, G., Mendoza-Pérez, C., Pérez-Ávila, M. de L., Peralta-Inga, M., & Rubiños-Hernandez, C. E. (2024). Evaluación del Sistema Acuapónico de Pequeña Escala para la Producción de Tilapia y Lechuga. Terra Latinoamericana, 42.

Serna-Lagunes, R., de la Luz-Morales, G., Merino, MC, García-Martínez, M. Á., Bañuelos-Hernández, KP, del Rosario-Arellano, JL, ... & Andres-Meza, P. (2026). Desarrollo de chayote verde liso [Sechium edule (Jacq.) Sw. var. virens levis] y quelite blanco silvestre (Amaranthus hybridus L.) en un sistema acuapónico con tilapia (Oreochromis niloticus) y acocil (Procambarus veracruzanus). Biotecnia, 28, e2458-e2458.

SIAP (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved from Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: https://www.google.com/search?q=SIAP&rlz=1C1CHBF_esMX1050MX1050&oq=SIAP&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyDggAEEUYJxg5GIAEGIoFMg0IARAuGK8BGMcBGIAEMgcIAhAAGIAEMgoIAxAAGLED GIAEMgcI BBAAGIAEMgYIBRBFGDwyBggGEEUYPDIGCAc QRRg80gEIMjMwNmowajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Sison, P., & Marcelino, J. (2024). Growth and Yield of Strawberry (Fragaria ananassa) 'Sweet Charlie' Variety as Influenced by Gibberellic and Salicylic Acids. Journal of Interdisciplinary Perspectives, 3(6), 1-12.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

BIOENSAYO DE PRODUCCIÓN DE LA COLIFLOR (*Brassica oleracea* var. botrytis) EN UN SISTEMA SABI

Keyla Alejandra Piñones Ramirez[1], Kevin Azpiri Solis[1], Betsabe Remedios Ruiz Ramirez[1], Mabiel Reyes Fuentes[2], Jesús David Joaquín Cuarenta[2], Berenice Rivera Cortez[3].

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable e Ingeniería en Agronomía, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [2] Ingeniería en Hidrológica, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Autor de correspondencia: mabiel.rf@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) es una hortaliza de importancia económica y nutricional, originaria del Mediterráneo oriental y ampliamente cultivada en México, destacando el estado de Guanajuato por su alta producción y vocación exportadora. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento y la adaptación del cultivo de coliflor en un sistema acuapónico tipo SABI, utilizando agua proveniente de tilapia, con la finalidad de analizar el desarrollo sin el uso de fertilizantes químicos y promover un sistema sustentable. La investigación se realizó en el Tecnológico Nacional de México, campus Roque, mediante un bioensayo en etapa vegetativa. Se evaluaron variables como altura de planta, ancho de planta y número de hojas verdaderas. El diseño incluyó análisis de varianza y comparación de medias por planta. Los resultados mostraron que las variables altura de planta y el ancho de planta no tuvieron diferencias significativas en las plantas evaluadas, mientras que la variable número de hojas verdaderas si presentó diferencias estadísticas. Aunque el cultivo mostró capacidad de adaptación al sistema acuapónico. Se concluye que la coliflor puede desarrollarse en sistemas SABI, aunque se requieren ajustes para mejorar la estabilidad y reducir la variabilidad productiva.

Palabras clave: *Coliflor, (Brassica oleracea var. botrytis), acuaponía, bioensayo, sustentabilidad*

ABSTRACT

Cauliflower *(Brassica oleracea var. botrytis)* is a vegetable of economic and nutritional importance, native to the eastern Mediterranean and widely cultivated in Mexico, with the state of Guanajuato standing out for its high production and export focus. This study aimed to evaluate the growth and adaptation of cauliflower cultivation in a SABI-type aquaponic system, using water from tilapia, in order to analyze its development without the use of chemical fertilizers and promote a sustainable system. The research was conducted at the National Technological Institute of Mexico, Roque campus, using a bioassay during the vegetative stage. Variables such as plant height, plant width, and number of true leaves were evaluated. The design included analysis of variance

and comparison of means per plant. The results showed that plant height and plant width did not differ significantly among the plants evaluated, while the number of true leaves did show statistically significant differences. However, the crop demonstrated a capacity to adapt to the aquaponic system. It is concluded that cauliflower can be grown in SABI systems, although adjustments are needed to improve stability and reduce yield variability.

Keywords: *Cauliflower, (Brassica oleracea var. botrytis), Aquaponics, Bioassay, Sustainability*

INTRODUCCIÓN

La coliflor es una planta, perteneciente a la familia *Cruciferae* y cuyo nombre botánico es *Brassica oleracea* L. var. *Botrytis*. En estas plantas la inflorescencia se encuentra hipertrofiada, formando una masa de pecíolos y botones foliares apelmazados (Infoagro. S.f.). Se tiene registro en la región desde el siglo dieciséis Históricamente, se sembraba de manera intercalada con el maíz en la zona chinampera, cultivándose una hilera de coliflor entre dos surcos de maíz. Además, el origen Procede del Mediterráneo oriental (Asia Menor, Líbano y Siria), siendo cultivada por romanos y extendida a Europa en el siglo dieciséis. Su producción actual en Guanajuato es indiscutible, aportando aproximadamente el 30% del volumen nacional con más de 30,000 toneladas anuales. El estado destaca por su alta productividad, enfocando su cosecha principalmente a mercados de exportación (Estados Unidos, Canadá y Japón). El cultivo se concentra en regiones tropicales y subtropicales, destacando Guanajuato (30%), Puebla (19%) e Hidalgo (17%). La mayor producción se registra en abril y se exporta principalmente a Estados Unidos. La Cosecha es generalmente en abril para cosecharse entre agosto y septiembre, aunque su mayor producción es en invierno, su nutrición es rica en vitamina C, vitamina B6, calcio, fósforo y potasio, valorado en la dieta mexicana, adaptándose bien a climas templados (Buyay, 2011).

La acuaponía consiste en la integración de dos métodos de cultivo: la acuacultura, que implica la cría de animales acuáticos, y la hidroponía, para la producción de cultivos vegetales a partir de soluciones nutritivas. En este sistema, ambos productos se benefician de los principios de reciclaje y uso de nutrientes, ya que estos últimos son excretados por animales acuáticos y aprovechados por las plantas cultivadas en los sistemas hidropónicos. El uso adicional que las plantas hacen de los residuos acuáticos constituye una ventaja destacada de la acuaponía, ya que este proceso reduce la contaminación y aumenta la eficiencia hídrica, además de disminuir el impacto ambiental. La acuaponía permite reducir los costos de producción mediante un uso más eficiente de los recursos; puede establecerse en diferentes escalas de producción, aumenta la rentabilidad económica y diversifica el origen de los ingresos financieros.

Las etapas fenológicas de la coliflor comprenden seis fases principales: germinación, emergencia, desarrollo vegetativo (formación de hojas), inducción floral, formación de la pella (cabeza) y floración/maduración de semilla. El ciclo, que suele durar de 90 a 180 días, destaca por la transición de la fase vegetativa a la inducción floral inducida por bajas temperaturas y la formación de la pella (Arauz, 2026).

Germinación y Emergencia es el Inicio del ciclo, a menudo en semillero, con una duración de 4 a 8 semanas hasta la aparición de las primeras hojas el desarrollo vegetativo forma su estructura de hojas (de 5 a 30 hojas, dependiendo de la variedad). El trasplante ocurre al tener de 3 a 4 hojas verdaderas. La Inducción Floral: es una fase crítica influenciada por temperaturas frescas (cercanas a 15 ºC). La planta detiene el crecimiento vegetativo intenso para iniciar la formación de la inflorescencia. Que significa el desarrollo de la "cabeza" blanca y compacta, que es la inflorescencia inmadura. Esta etapa requiere un control. Después ocurre la etapa de la cosecha cuando la pella ha alcanzado su tamaño máximo y es firme, generalmente antes de que las florecillas comiencen a separarse. Si no se cosecha, la pella se abre y desarrolla tallos florales amarillos para la producción de. Cabe mencionar que el objetivo de esta investigación es evaluar el crecimiento y adaptación de un cultivo de coliflor a un sistema SABI que se basa en agua de tilapia como antes lo mencionaba así mismo se conoce la morfología y etapas fenológicas del cultivo sin necesidad de integrar fertilizantes y químicos. Además, cabe mencionar que buscamos la sustentabilidad del sistema que tiene la capacidad de producir alimentos y hortalizas, buscaba observar el desarrollo y las deficiencias de un cultivo en un sistema SABI.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Tecnológico Nacional de Mexico campus Roque, en la unidad de Acuacultura en el sistema SABI. La planta de coliflor estaba en la etapa fenológica de hojas verdaderas y el método a desarrollar fue un bioensayo para observar la adaptación y las etapas fenológicas del cultivo. El trasplante se realizó al sistema en unos vasos convencionales de 8 onzas con orificios en la parte de abajo, posteriormente se colocaron 3 capas de sustrato, la primera capa fue de tezontle, la segunda fue perlita y la tercera de fibra de coco. Posteriormente se les otorgó un número por unidad. Así mismo se realizaron conteos los días 20 de cada mes, en esa toma de datos se consideraron las siguientes variables: Altura de la planta, Ancho del tallo, y número de hojas. Se utilizo un diseño completamente al azar, con ocho plantas y cinco repeticiones, y los datos obtenidos se analizaron en el programa estadístico SAS 9.4 para obtener los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 1 muestra el análisis de varianza donde podemos observar los cuadrados medios de las variables Altura de planta que no hubo diferencias entre plantas, para la variable Ancho de planta no hubo diferencia

entre plantas, y en la variable número de hojas si se observaron diferencias altamente significativas, lo que nos dice que al menos una de las plantas se comportó de manera diferente.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables Altura de planta, ancho de planta y hojas verdaderas

FV	GL	AP	ANP	H
Planta	7	177.667 ns	0.9187 ns	2.100 **
Repetición	4	93.4002 ns	3.258 *	8.43 **
Error	28	90.809964	0.805	0.3946
C.V.		7.642801	22.5	10.9

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; C.V.= Coeficiente de variación; AP= Altura de planta; ANP= Ancho de planta; H= Hojas; * = Diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05): ** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01); ns = No significativo (P≥ 0.05)

En la comparación de medias de las variables Altura de planta y ancho de planta todas las plantas se comportaron de la misma manera por lo que todas están agrupadas dentro de la misma categoría estadística, para el caso de la variable Número de hojas verdaderas las planta C15 y C13 mostraron el valor más alto (6.4000a) y la planta B10 tuvo e valor más bajo (4.8000c), esto nos indica que la aplicación de agua de pez utilizando el sistema SABI tiene un efecto en el desarrollo vegetativo de las plantas de coliflor (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para variables ancho de tallo y altura

Planta	AP	ANP	H
C15	131.960 a	3.640 a	6.40 a
C6	130.620 a	4.600 a	6.20 ab
B10	128.000 a	4.060 a	4.80 c
F6	127.520 a	3.740 a	6.00 abc
C7	124.940 a	4.360 a	6.00 abc
C10	120.200 a	4.280 a	5.20 abc
C5	118.980 a	3.300 a	5.00 bc
C13	115.260 a	3.820 a	6.40 a

Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales; AP= Altura de planta; ANP = Ancho de planta, H= Hojas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto significativo en número de hojas sugiere que las condiciones asociadas al momento de medición como la etapa fenológica del cultivo, la disponibilidad de nutrientes en el sistema, la dinámica microbiológica del agua, o variaciones ambientales (temperatura, luminosidad) pudieron incidir directamente en el desarrollo vegetativo. En sistemas acuapónicos, la estabilidad de nutrientes depende de la interacción entre peces, microorganismos y plantas, por lo que cambios en la madurez del sistema pueden reflejarse en la respuesta del cultivo.

Los hallazgos de este estudio evidencian que el cultivo mostro capacidad de adaptación al sistema acuapónico, evidenciada por su crecimiento y desarrollo, aunque su crecimiento está fuertemente condicionado por factores temporales. Nicholes *et al*. (2025), evaluaron el crecimiento encontrando que el brócoli incremento su biomasa en un 185% en acuaponía respecto al cultivo en suelo evidenciando la capacidad de brasicáceas para

aclimatarse rápidamente en estos sistemas, esto significa mayor producción menos pérdida. Estos benefician a la alta producción y cubrir la alta demanda del cultivo.

La coliflor *(Brassica oleracea var. Botrytis)* puede adaptarse al sistema acuapónico, aunque presentó diferencias de crecimiento a lo largo de las mediciones en el número de hojas, requiere posiblemente ajustes en manejo nutricional para mejorar las demás características en el desarrollo y crecimiento de las plantas; lo anterior indicó que el crecimiento de la coliflor en el sistema acuapónico estuvo condicionado principalmente por el factor temporal. El número de hojas presentó diferencias significativas entre plantas, evidenciando que el desarrollo foliar fue afectado por el tiempo de crecimiento.

CONCLUSIONES

La coliflor puede desarrollarse en sistemas SABI (bajo un un sistema de reuso de agua de acuaponía).

El número de hojas en este sistema de cultivo se mejora en el cultivo de brócoli.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, S., Rahman, M., & Islam, M. (2021). *Effects of temperature on growth and curd formation of cauliflower*. Agricultural Sciences, 12(4), 455–463.

Cifuentes-Torres, L. C., Correa-Reyes, G. C., & Sánchez, J. E. (2021). *Can reclaimed water be used for sustainable food production in aquaponics?* Frontiers in Plant Science, 12, 669984. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984

InfoAgro. (s.f.). *El cultivo de la coliflor*. Recuperado el 15 de mayo de 2026.

López-Vargas, J. H., & García-Hernández, J. L. (2020). *Importancia nutricional y funcional de las crucíferas en la alimentación humana*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(5), 1157–1166.

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Maynard, D. N., & Hochmuth, G. J. (2019). *Knott's handbook for vegetable growers* (6th ed.). Wiley.

Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2018). *Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics integrating fish and plant culture*. Southern Regional Aquaculture Center.

SADER. (2024). *Panorama agroalimentario de coliflor y brócoli en México*.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE MICROORGANISMOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.)

Cid Aguilar-Carpio[1]; Yessica Flor Cervantes Adame[2*]; Adriana Pérez-Ramírez[2]; José Alberto Salvador Escalante-Estrada[1]

[1]Posgrado de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México.
[2]Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Ayala, Morelos, México.
*Autor de correspondencia: yessica.cervantes@uaem.mx

RESUMEN

La albahaca es una planta aromática y medicinal, que puede ser una alternativa de producción en condiciones de invernadero, por ser económicamente importantes, debido a la demanda en los mercados, por ende, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes microorganismos en asociación con fertilizantes químicos sobre la producción de albahaca. El estudio se realizó en Xalostoc, Morelos, México. El cultivo utilizado fue albahaca Nufar en donde se aplicaron dos microorganismos al suelo, *Rizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en asociación con un fertilizante químico (Nitrofoska). Para evaluar el crecimiento del cultivo se realizó un muestreo destructivo a los 35 días después del trasplante; en donde se midió el área foliar, peso seco y fresco, altura de la planta. A las variables se les realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey. Para la altura de la planta se observó que *R. irregularis* solo y en mezcla con el fertilizante químico presento los valores más altos. La fertilización química en combinación *R. irregularis* y *A. brasilense* genero la mayor área foliar, peso seco y fresco. De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere emplear microorganismos para obtener un mayor crecimiento y producción de albahaca.

Palabras clave: *área foliar, biomasa, planta medicinal, producción*

ABSTRACT

Basil is an aromatic and medicinal plant that offers a viable production alternative in greenhouse conditions due to significant market demand; therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different microorganisms combined with chemical fertilizers on basil production. The study was conducted in Xalostoc, Morelos, Mexico, using the 'Nufar' basil cultivar. Two microorganisms *Rhizophagus irregularis* and *Azospirillum brasilense* were applied to the soil in combination with a chemical fertilizer (Nitrofoska). To assess crop growth, destructive sampling was performed 35 days after transplanting, measuring leaf area, fresh and dry weight, and plant height. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's mean comparison test.

Regarding plant height, the highest values were observed with *R. irregularis* applied alone and in combination with the chemical fertilizer. Chemical fertilization combined with *R. irregularis* and *A. brasilense* resulted in the highest leaf area, dry and fresh weight. Based on these results, the use of microorganisms is recommended to enhance basil growth and production.

Keywords*: leaf area, biomass, medicinal plant, production.*

INTRODUCCIÓN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) pertenece a la familia botánica Lamiaceae, es una planta aromática, medicinal, ornamental, melífera y herbácea. Actualmente ha tomado relevancia comercial, debido a su uso culinario, ya que aporta un aroma y sabor intenso de frescura a los alimentos, lo que le otorga un alto valor económico (Vázquez-Vázquez *et al*., 2015; Aguilar *et al*., 2023; Aguilar-Carpio *et al*., 2026). En México se cosechan 354.6 ha de albahaca con una producción de 2,859.87 t y un rendimiento promedio de 8.0 t ha^{1}. Siendo los principales estados productores Baja California Sur, Puebla, Morelos, Nayarit, Baja California y Guerrero. En el estado de Morelos, que es el tercer productor a nivel nacional se ha observado un aumento en la demanda del cultivo, actualmente se obtiene una producción de 365 t con un rendimiento promedio de 7.0 t ha^{-1} (SIAP, 2024).

En la agricultura actual, la principal fuente de nutrición de un cultivo son los fertilizantes sintéticos, sin embargo, su implementación excesiva ha generado efectos adversos como contaminación del suelo y agua, por lo que la aplicación de fertilizantes biológicos (microorganismos) puede ayudar en la estabilidad del ecosistema agrícola (Rueda *et al*., 2015 Aguilar *et al*., 2023; Aguilar-Carpio *et al*., 2026). La inoculación de microorganismos conlleva una mejora en la absorción de nutrientes, lo que estimula el crecimiento de las plantas y esto se refleja en una mayor productividad del cultivo. Así como lo señalan diversas investigaciones sobre la albahaca donde evalúan a los fertilizantes biológicos para obtener una mejor productividad (Ruíz *et al*., 2016; Combatt-Caballero *et al*., 2020). Los antecedentes indican que uso de fertilizantes biológicos impacta de manera positiva en la agricultura, por lo cual es importante seguir evaluando diferentes fuentes biológicas que nos ayuden a mejorar la producción del cultivo de albahaca y así poder reducir el uso de fertilizantes químicos, por lo cual, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes microorganismos en asociación con fertilizantes químicos sobre la producción de albahaca bajo agricultura protegida.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los invernaderos de la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ubicada en la comunidad de Xalostoc del municipio de Ayala, Morelos, México

(18° 44´ 38.93" latitud norte y 98° 54´ 37.16" longitud oeste a 1291 msnm), de noviembre de 2022 a enero de 2023. En invernadero de plástico color blanquecino y malla anti-áfidos en las paredes laterales. El 01 de noviembre de 2022 se sembraron semillas de albahaca en bandejas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato de germinación a BM2 Berger®, en donde se colocó una semilla por cavidad. A los 30 días después de la siembra se realizó el trasplante en bolsas de polietileno.

El experimento incluyó cuatro tratamientos de nutrición química, biológico y un testigo sin aplicación. Para la fertilización biológica se aplicó en el sustrato propágulos de la especie *Rhizophagus irregularis* y *Azopirillum brasilense*, en el caso de la fertilización química se utilizó nitrofoska. Los tratamientos fueron aplicados en la base de la planta a los 0, 7 y 14 días después del trasplante (ddt), las dosis utilizadas se muestran en el Cuadro1.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización utilizados en el estudio.

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis
1	Fertilización química (Nitofoska) + Ri	NPK (12-8-16) + 2 L ha^{-1}
2	Fertilización química (Nitrofoska) + Az	NPK (12-8-16) + 300 g ha^{-1}
3	*Rhizophagus irregularis* (Ri)	2 L ha^{-1}
4	*Azospirillum brasilense* (Az)	300 g ha^{-1}
5	Testigo sin aplicación	-

El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por 10 bolsas de polietileno color negro de 8 L de capacidad, llenadas con composta de hoja como sustrato. En total se utilizaron 200 bolsas, con una planta por bolsa.

En cuanto al manejo agronómico del cultivo, solo se realizó un control manual de malezas cuando fue necesario. Para el caso de los insectos, no fue necesario un control debido a que las plantas estaban dentro del invernadero, lo cual evito una infestación, así como tampoco hubo presencia de enfermedades.

La producción del cultivo se evaluó en función de la fertilización química y biológica, mediante un muestreo destructivo de ocho plantas por tratamiento a los 45 ddt; en el muestreo se midió la altura de la planta (cm), peso fresco y seco por planta (g) cuantificada con una báscula digital (OHAUS®). Las muestras se secaron a 70 °C en una estufa de circulación de aire forzado durante 72 horas, para obtener el peso seco. También se determinó el área foliar con un medidor de área (LI-COR® 3100). A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza con el programa estadístico de SAS versión 9.0 y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) (SAS, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se puede observar que la fertilización química con *R. irregularis* y *A. brasilense* mostró diferencias significativas en la altura de la planta. Cabe señalar, que la mayor altura se encontró con *R. irregularis*, así como asociado con la fertilización química, los cuales mostraron diferencias respecto a los demás tratamientos. Esto indica la importancia de la nutrición química para promover un alargamiento celular del tallo en plantas de albahaca (Aguilar-Carpio *et al*., 2026). Por su parte, Aguilar *et al*. (2023) observaron que con la fertilización química (nitrofoska) en asociación con *Trichoderma harzianum* y *R. irregularis* se generó un incremento significativo en la altura de la planta de albahaca respecto al testigo sin aplicación.

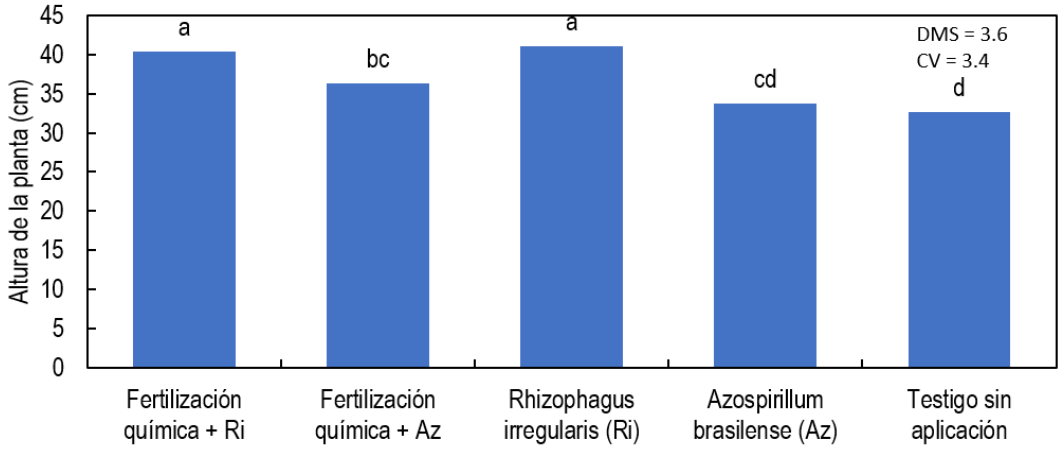


Figura 1. Efecto de la nutrición química y biológica en la altura de la planta de albahaca.

El área foliar aumentó de manera significativa por el efecto de fertilización química más los microorganismos (Figura 2). Puede apreciarse que la combinación del fertilizante químico y *R. irregularis* produjo la mayor área foliar, respecto a los microorganismos aplicados de forma individual y al testigo sin aplicación. Lo anterior señala, que la aplicación de fertilizantes químicos promueve un aumento en el área foliar, lo que directamente se relación con una mayor fotosíntesis, siendo uno de los procesos fundamentales de la planta para producir hojas (Aguilar-Carpio *et al*., 2026).

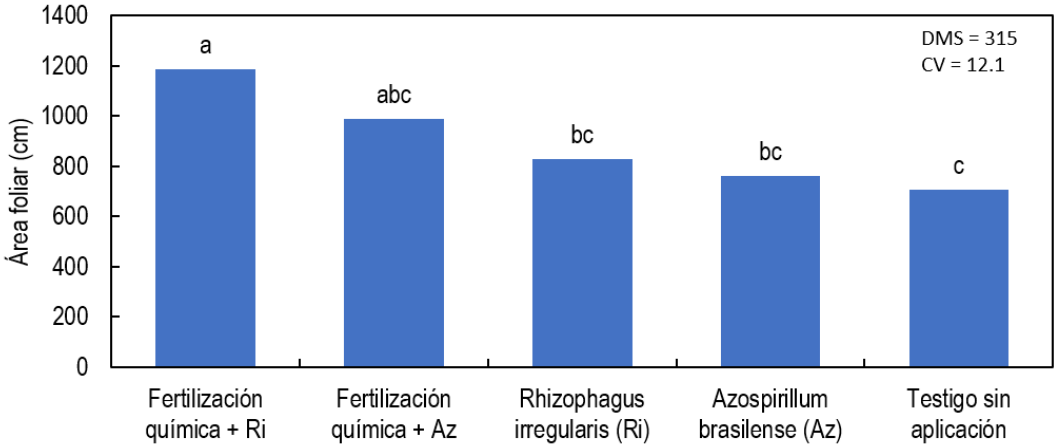


Figura 2. Efecto de la nutrición química y biológica en el área foliar de la planta de albahaca.

En cuanto al peso seco, la aplicación del fertilizante químico en mezcla con *A. brasilense* y *R. irregularis* lograron incrementar el peso de la planta en comparación a los biológicos solos (Figura 2). Efecto que también fue observado por Aguilar *et al*. (2023) quienes con la fertilización química (nitrofoska) en asociación con *Trichoderma harzianum* y *R. irregularis* se generó un incremento significativo en el peso seco de la planta de albahaca respecto al testigo sin aplicación. Lo anterior, indica que la generación del peso seco está directamente relacionada con la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo, y a su vez con los microorganismos, que favorecieron la asimilación de nutrientes, generando un mayor peso de la planta.

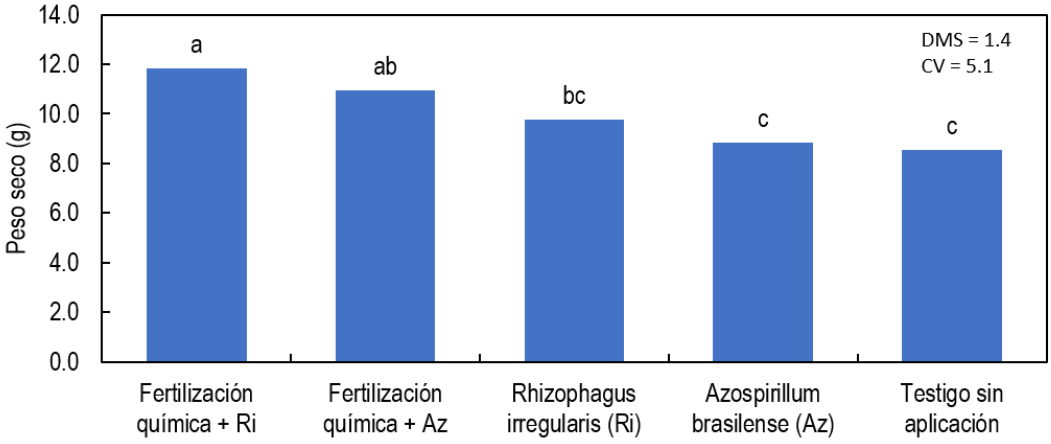


Figura 3. Efecto de la nutrición química y biológica en el peso seco de la planta de albahaca.

En el peso fresco se observó que la aplicación de la fertilización química en asociación con *A. brasilense* y *R. irregularis* presentaron los valores más altos, los cuales estadísticamente fueron diferentes al testigo sin aplicación y a *R. irregularis* (Figura 4). Estos resultados confirman el hecho que la fertilización química puede afectar de manera significativa la producción de las plantas de albahaca (Aguilar *et al*., 2023). Cabe señalar,

que la fertilización biológica no mostro efectos significativos con relación al testigo sin aplicación. La aplicación de fertilizantes químicos y biológicos influyó en el peso del dosel vegetal, lo cual se relaciona con una mayor calidad de producción comercial (Yépez-Hernández *et al*., 2016).

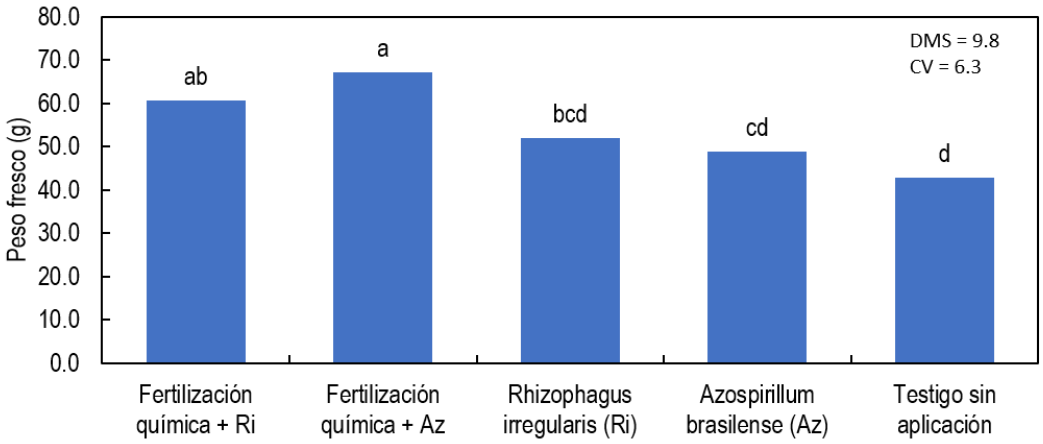


Figura 4. Efecto de la nutrición química y biológica en el peso fresco de la planta de albahaca.

CONCLUSIONES

Para la altura de la planta se observó que *Rhizophagus irregularis* solo y en mezcla con el fertilizante químico presento los valores más altos. La fertilización química en combinación *Rhizophagus irregularis* genero la mayor área foliar, peso seco y fresco. De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere complementar la nutrición química con microorganismos para obtener una mayor producción de albahaca.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar-Carpio, C., Juarez-Lopez, P., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Pérez-Ramírez, A., & Escalante-Estrada, J. (2026). Basil (*Ocimum basilicum* L.) growth analysis in response to nitrogen concentration. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 29(2): 1-10. http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.6544

Aguilar, C. C., Cervantes, A. Y. F., Mendoza, P. M. F., Ruiz, A. A., Mendez, B. M., Pérez, R. A. & Escalante, E. J. A. S. (2023). Producción de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) con Relación a la Nutrición Química y Biológica. Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Fresnillo 2023. 7: 1-5.

Combatt-Caballero, E., Pérez-Polo, D., Villalba-Arteaga, J., Mercado-Lázaro, J. y Jarma-Orozco, A. (2020). Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca *Ocimum basilicum* L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica. 23(2): e1325.

Rueda, P. E. O., Ortega, G. J., Barrón, H. J. M., López, E. J., Murillo, A. B., Hernández, M. L. G., Alvarado, M. A. G. y Valdez, D. R. D. (2015). Los fertilizantes biológicos en la agricultura. Invurnus. 10(1): 10-17.

Ruiz, E. F. H., Hernández. E. R., Beltran, M. F. A., Zamora, S. S., Loya, R. J. G. y Luna, O. J. G. (2016). Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 17: 3543-3555.

SAS (2003) Institute SAS/STAT user´s guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). México. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/ (consultado en septiembre de 2025).

Vázquez-Vázquez, C., Ojeda-Mijares, G. I., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P. y Antonio-González, J. (2015). Sustratos orgánicos en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su calidad fitoquímica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.16(8): 1833-1844.

Yépez-Hernández, F. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Delgadillo-Martínez, J., Mendoza-López, M. R. y García-Barradas, O. (2016). Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca. Revista Fitotecnia Mexicana. 39(1): 33-40.

AGRÍCOLAS
Tecnología de la producción

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE TRIGO HARINERO DE GLUTEN FUERTE BAJO DOSIS DE NITRÓGENO EN EL BAJÍO

Manuel Jeronimo Arriaga*[1]; Lourdes Ledesma Ramírez[2]; Ernesto Solís Moya[2]; Francisco Paúl Gámez Vázquez[2]; José Francisco Rodríguez Rodríguez [2]; Dagoberto Flores Marín[2]

[1]Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Roque. Carretera, Juventino Rosas – Celaya km. 8, 38110 Celaya Gto., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México, km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Gto. C.P. 38010. *Autor por correspondencia: jeross456@gmail.com.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar el comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte bajo diferentes dosis de nitrógeno en la región del Bajío. El experimento se estableció durante el ciclo otoño-invierno 2024-2025 en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial y tres repeticiones. Se evaluaron cinco dosis de nitrógeno (0, 120, 180, 240 y 300 kg N ha^{-1}) en cinco variedades de trigo harinero de gluten fuerte: Cisne F2016, Bacorehuis F2015, Conatrigo F2015, Hans F2019 y Noreste F2018. Las variables analizadas fueron días a espigamiento, días a madurez fisiológica, altura de planta, roya amarilla, rendimiento de grano, peso de mil granos, índice de cosecha, biomasa, granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para todas las variables evaluadas, lo cual evidencia una importante variabilidad genética en la respuesta agronómica. Las variedades Cisne F2016 y Hans F2019 registraron los mayores rendimientos de grano, con 7216 y 7148 kg ha^{-1}, respectivamente. Los resultados indican que la selección varietal tiene un mayor impacto sobre el rendimiento que el incremento excesivo de nitrógeno, el incremento de nitrógeno favoreció ligeramente el rendimiento y los componentes relacionados con biomasa y número de granos por metro cuadrado.

Palabras clave: *Fertilización nitrogenada, Triticum aestivum, Rendimiento de grano, Componentes de rendimiento*

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the performance of yield components in strong-gluten bread wheat genotypes under different nitrogen application rates in the Bajío region. The experiment was conducted during the 2024-2025 fall-winter growing season at the Bajío Experimental Field (CEBAJ) of INIFAP, using a randomized complete block design with a factorial arrangement and three replications. Five nitrogen application rates (0, 120, 180, 240, and 300 kg N ha^{-1}) were evaluated in five strong-gluten bread wheat varieties: Cisne F2016, Bacorehuis F2015, Conatrigo F2015, Hans F2019, and Noreste F2018. The variables analyzed were

days to heading, days to physiological maturity, plant height, yellow rust, grain yield, thousand-grain weight, harvest index, biomass, grains per square meter, and ears per square meter. Analysis of variance showed highly significant differences between genotypes for all evaluated variables, demonstrating significant genetic variability in the agronomic response. The varieties Cisne F2016 and Hans F2019 recorded the highest grain yields, with 7216 and 7148 kg ha^{-1}, respectively. The results indicate that varietal selection has a greater impact on yield than excessive nitrogen application; increased nitrogen application slightly favored yield and the components related to biomass and number of grains per square meter.

Keywords: *Nitrogen fertilization, Triticum aestivum, Grain yield, Yield components*

INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial debido a su contribución en la seguridad alimentaria y a su papel como fuente principal de carbohidratos y proteínas para millones de personas (FAO, 2024). En México, la región del Bajío constituye una de las principales zonas productoras de trigo harinero bajo condiciones de riego (Ledesma-Ramírez, L.et al., 2012). Sin embargo, el incremento en los costos de fertilizantes y la necesidad de optimizar el uso del nitrógeno han generado interés en identificar variedades con alta eficiencia agronómica y mejor respuesta a diferentes niveles de fertilización (Zhang, Y., et al 2021)

Diversos estudios recientes han demostrado que la aplicación adecuada de nitrógeno incrementa significativamente el rendimiento del trigo; sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede disminuir la eficiencia de uso del nutriente y generar impactos negativos sobre el ambiente, tales como contaminación de cuerpos de agua, emisión de gases de efecto invernadero y degradación del suelo. Yokamo et al. (2023) realizaron un metaanálisis global sobre eficiencia de fertilización nitrogenada en trigo y reportaron que el rendimiento aumenta de manera curvilínea conforme se incrementa la dosis de nitrógeno, alcanzando los mayores beneficios entre 150 y 300 kg N ha^{-1}. No obstante, después de este umbral la respuesta tiende a disminuir, evidenciando que aplicaciones excesivas no necesariamente se traducen en mayores rendimientos.

Asimismo, Koppensteiner et al. (2022) señalaron que la fertilización nitrogenada influye sobre diversos componentes de rendimiento, particularmente en el número de granos y la producción de biomasa, aunque altas dosis de nitrógeno pueden reducir el peso de mil granos y el índice de cosecha cuando existen condiciones ambientales limitantes durante el llenado de grano. Estos autores también destacaron que factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de agua modifican la duración de las etapas fenológicas del trigo y condicionan la respuesta del cultivo a la fertilización.

En años recientes, la eficiencia del uso del nitrógeno se ha convertido en uno de los principales objetivos de investigación en cereales debido a la necesidad de mantener altos niveles de productividad con menor impacto ambiental. Estudios realizados por Kumar et al. (2023) demostraron que estrategias de manejo nitrogenado basadas en sensores y aplicaciones fraccionadas permiten incrementar la eficiencia de uso de nitrógeno y mejorar el rendimiento de distintas variedades de trigo. De igual manera, Lenoir et al. (2023) señalaron que los componentes de rendimiento del trigo presentan una elevada plasticidad fenotípica frente a la fertilización nitrogenada, particularmente en el número de granos por unidad de superficie y la biomasa acumulada.

Otro aspecto relevante asociado al nitrógeno es su influencia sobre la calidad del grano. Sharma et al. (2023) indicaron que la absorción y removilización de nitrógeno antes y después de antesis contribuyen significativamente tanto al rendimiento como a la concentración de proteína del grano en trigo. Esto es especialmente importante en variedades de gluten fuerte, donde el contenido y calidad de proteína determinan su valor industrial para la elaboración de pan y otros productos. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general determinar el comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte, bajo un manejo de fertilización nitrogenada en la zona del Bajío.

MATERIALES Y MÉTODOS

La siembra se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP, ubicado en el Km 6.5 carretera Celaya-San Miguel Allende Celaya, Guanajuato, a 20° 32' LN; 100° 48' LO; con una altura de 1765 m.s.n.m.
El experimento se realizó durante el ciclo de otoño invierno (OI) 2024-2025. Se evaluaron cinco dosis de nitrógeno en cinco variedades de trigo harinero de gluten fuerte (*Triticum aestivum*), para dar un total de 25 tratamiento, con un calendario de cuatro riegos a los 0-45-75-100 días después de la siembra. Se sembró el día 6 de diciembre del 2024. Los ensayos fueron establecidos bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se hizo a una densidad de 120 kg ha^{-1}. Se aplicó la dosis de fertilización de cada tratamiento, la mitad de nitrógeno y todo el P_2O_5 a la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio. Las fuentes empleadas fueron sulfato de amonio con 20.5% de N, y para fósforo Superfosfato de calcio simple. Las malezas de hoja angosta se controlaron con Topik 24EC® a los 28 días del riego de siembra y las de hoja ancha con Estarane a los 22 días y Esteron 47® a los 34 días. La cosecha se realizó con una cosechadora adaptada para parcelas experimentales, cuando el grano alcanzó un contenido de humedad entre 12 y 14 %. En el Cuadro 1 se muestran el orden de los tratamiento de las dosis de nitrógeno y las variedades donde la dosis de nitrógeno son A = 00; B = 120; C = 180; D = 240; E = 300; y las variedades a = Cisne F2016; b = Bacorehuis F2015; c = Conatrigo F2015; d = Hans F2019; e = Noreste F2018.

Cuadro 1. Distribución de tratamiento en dosis de nitrógeno y variedades de trigo de gluten fuerte.

Dósis de Nitrógeno	Trat 1	Variedades	Trat 2
00-60-00	A	Cisne F2016	a
00-60-00	A	Bacorehuis F2015	b
00-60-00	A	Conatrigo F2015	c
00-60-00	A	Hans F2019	d
00-60-00	A	Noreste F2018	e
120-60-00	B	Cisne F2016	a
120-60-00	B	Bacorehuis F2015	b
120-60-00	B	Conatrigo F2015	c
120-60-00	B	Hans F2019	d
120-60-00	B	Noreste F2018	e
180-60-00	C	Cisne F2016	a
180-60-00	C	Bacorehuis F2015	b
180-60-00	C	Conatrigo F2015	c
180-60-00	C	Hans F2019	d
180-60-00	C	Noreste F2018	e
240-60-00	D	Cisne F2016	a
240-60-00	D	Bacorehuis F2015	b
240-60-00	D	Conatrigo F2015	c
240-60-00	D	Hans F2019	d
240-60-00	D	Noreste F2018	e
300-60-00	E	Cisne F2016	a
300-60-00	E	Bacorehuis F2015	b
300-60-00	E	Conatrigo F2015	c
300-60-00	E	Hans F2019	d
300-60-00	E	Noreste F2018	e

Trat 1 = Dosis de Nitrógeno; Trat 2 = Variedades; A = 00; B = 120; C = 180; D = 240; E = 300; a = Cisne F2016; b = Bacorehuis F2015; c = Conatrigo F2015; d = Hans F2019; e = Noreste F2018

Las variables estudiadas en el experimento fueron:

Días a espigamiento (DE): se cuantificó en días, a partir del riego de siembra y hasta que el 50% de las plantas de cada parcela experimental tuvieron las espigas expuestas.

Altura de planta (AP): se midió en centímetros desde el cuello de la base de la planta, hasta la espiguilla terminal.

Días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos del riego de siembra al momento en que el 50% de espigas y pedúnculos de las plantas presentaron un color dorado.

Rendimiento (RG): en gramos por parcela y se transformaron a kg ha^{-1}.

% de daño por roya amarilla (ROYA): porcentaje de daño tomado visualmente por la escala modificada de Coob.

IC (índice de cosecha):

$$Indice\ de\ cosecha = \frac{\text{Peso de grano de 100 tallos (gr)}}{\text{peso de 100 tallos (gr)}}$$

BIO (Biomasa):

$$Biomasa = \frac{\frac{\text{Rendimiento (Kg } ha^{-1})}{1000}}{\text{Indice de cosecha}}$$

Peso de 1000 granos (PMG): en gramos.

GPM2 (Granos por metro cuadrado):

$$Granos\ por\ metro\ cuadrado = \frac{\frac{\text{Rendimiento (Kg } ha^{-1})}{10}}{\frac{\text{Peso de mil granos (gr)}}{1000}}$$

EPM2 (Espigas por metro cuadrado):

$$Espigas\ por\ metro\ cuadrado = \frac{\frac{\text{Biomasa(t } ha^{-1})(100)}{Peso\ de\ 100\ tallos(gr)}}{100}$$

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza factorial y las comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 2), mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para todas las variables evaluadas, incluyendo días a espigamiento, días a madurez fisiológica, altura de planta, roya amarilla, rendimiento, peso de mil granos, índice de cosecha, biomasa, granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado. Para el factor de dosis de nitrógeno se mostraron diferencias altamente significativas en la variable de días a madurez. Estos resultados indican la existencia de una amplia variabilidad genética entre los materiales evaluados, lo cual coincide con lo reportado por Lenoir et al. (2023), quienes mencionan que los genotipos de trigo presentan una elevada plasticidad fenotípica frente al manejo nitrogenado y las condiciones ambientales.

Cuadro 2. Cuadrados medios de las variables estudiadas en el experimento y comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte bajo dosis de nitrógeno en el Bajío

F. V	G.L	DE	DM	AP	Roya	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
DN	4	0.43	14.3 **	11.16	55.83	340797	9.84	0.003	7.2	4202819	4620
REP	10	0.34	9.06	22.33	47.66	941615	18.94	0.002	4.17	4420203	3115
GEN	4	443.5 **	173.55 **	106.16 **	4462 **	7993825 **	105.84 **	0.010 **	50.19 **	30728242 **	18592 **
DN*GEN	16	0.17	0.87	6.16	37.08	198622	12.38	0.003	8.37	1340831	3228
Error	40	0.29	1.23	5.66	42.66	299826	13.08	0.001	3.34	1867363	2180
Total	74										
CV		*0.68*	*0.87*	*2.71*	*50.24*	*8.42*	*7.93*	*11.15*	*9.96*	*9.5*	*11.85*
Media		80	127.62	87.6	13	6501	45.58	0.35	18.35	14381	393

FV = fuente de variación; G.L. = grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; DE = días a espigamiento; DM = días a madurez; AP= altura de planta; RG = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG: Peso de mil granos; IC: Indice de cosecha; BIO: Biomasa; GPM2: Granos por metro cuadrado; EPM2: Espigas por metro cuadrado; **= diferencias altamente significativas; *= diferencias significativas, ns= no significativo.

Los análisis de comparación de medias en el nivel de nitrógeno aplicado (Cuadro 3), se observa que las dosis de nitrógeno únicamente afecto para días a madurez fisiológica, lo que indica que el incremento de nitrógeno prolongó ligeramente el ciclo del cultivo. Las dosis superiores a 120 kg N ha^{-1} incrementaron la madurez fisiológica de 126 a 128 días. Este comportamiento coincide con lo descrito por Koppensteiner et al. (2022), quienes señalaron que altas disponibilidades de nitrógeno pueden extender ciertas etapas fenológicas debido al aumento del crecimiento vegetativo.

Cuadro 3. Comparaciones de medias del nivel de nitrógeno aplicado en los genotipos de trigo harinero fuerte de las variables de estudio evaluados en el Bajío.

DN	DE	DM	AP	Roya	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
A (00)	80	126a	86	11	6277	47	0.36	17.62	13488	374
B (120)	80	128b	88	12	6522	45	0.35	18.72	14714	408
C (180)	80	128b	88	13	6446	45	0.36	18.19	14317	385
D (240)	80	128b	89	16	6586	45	0.38	17.89	14611	386
E (300)	80	128b	87	13	6674	45	0.35	19.36	14776	416
DHS	*0.56*	*1.15*	*2.48*	*6.81*	*571.00*	*3.77*	*0.04*	*1.90*	*1425.00*	*48.69*

DE = días a espigamiento; DM = días a madurez; AP= altura de planta; RG = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG: Peso de mil granos; IC: Índice de cosecha; BIO: Biomasa; GPM2: Granos por metro cuadrado; EPM2: Espigas por metro cuadrado; DHS = diferencia honesta significativa

Los análisis de comparación de medias para genotipos (Cuadro 4), en las variables de estudio observadas para rendimiento de grano sugieren que el potencial productivo depende principalmente del componente genético de cada variedad. Los genotipos Cisne F2016 y Hans F2019 mostraron los mayores rendimientos, con 7216 y 7148 kg ha^{-1}, respectivamente, superando significativamente a Bacorehuis F2015. Esto puede atribuirse a una mayor eficiencia fisiológica y a una mejor capacidad para transformar biomasa en rendimiento económico

Cuadro 4. Comparación de medias de genotipos de trigo harinero fuerte de las variables de estudio, evaluados en el Bajío.

GEN	DE	DM	AP	Roya	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
a (Cisne F2016)	71b	122b	86b	2b	7216a	48c	0.39a	18.45c	15223c	406c
b (Bacorehuis F2015)	85a	131a	90a	43ª	5426b	43b	0.34b	16.28b	12554b	356b
c (Conatrigo F2015)	80c	127c	84b	6b	6408c	49a	0.39a	17.16b	13417c	367c
d (Hans F2019)	80c	128c	91a	3b	7148a	44c	0.34b	21.08a	16167a	396c
e (Noreste F2018)	84c	130a	87b	10c	6308c	43b	0.34b	18.83c	14545c	445a
DHS	*0.56*	*1.15*	*2.48*	*6.81*	*571.05*	*3.77*	*0.04*	*1.90*	*1425.00*	*48.69*

DE = días a espigamiento; DM = días a madurez; AP= altura de planta; RG = rendimiento en kg ha-1; PMG: Peso de mil granos; IC: Índice de cosecha; BIO: Biomasa; GPM2: Granos por metro cuadrado; EPM2: Espigas por metro cuadrado; DHS = diferencia honesta significativa

CONCLUSIÓN

Los resultados demostraron que el componente genético tuvo una mayor influencia sobre el rendimiento de grano y sus componentes que el incremento de las dosis de nitrógeno aplicadas. Las variedades Cisne F2016

y Hans F2019 destacaron por presentar los mayores rendimientos de grano, así como mejores valores en componentes asociados a productividad, biomasa y eficiencia fisiológica, además de mostrar menor incidencia de roya amarilla. Estos materiales evidenciaron una mejor adaptación a las condiciones agroambientales de la región y un uso más eficiente del nitrógeno disponible. Aunque el incremento de las dosis de nitrógeno favoreció variables como biomasa, granos y espigas por metro cuadrado, las diferencias en rendimiento no fueron estadísticamente significativas entre niveles de fertilización, lo que sugiere que aplicaciones excesivas de nitrógeno no garantizan incrementos proporcionales en productividad. Asimismo, la ausencia de interacción significativa entre dosis de nitrógeno y genotipos indica una respuesta relativamente estable de las variedades frente al manejo nitrogenado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO. (2024). *The state of food and agriculture 2024*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Koppensteiner, L. J., Kaul, H. P., Piepho, H. P., Barta, N., Euteneuer, P., Bernas, J., Löschenberger, F., & Neugschwandtner, R. W. (2022). Yield and yield components of facultative wheat are affected by sowing time, nitrogen fertilization and environment. *European Journal of Agronomy, 140*, 126591. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126591

Kumar, B., Shaloo, Bisht, H., Meena, M. C., Dey, A., Dass, A., Paramesh, V., Babu, S., Upadhyay, P. K., Prajapati, V. K., Chandanshive, A., Suna, T., Yadav, S. K., Saini, A. K., Dwivedi, N., Brahmanand, P. S., & Jha, A. K. (2023). Nitrogen management sensor optimization, yield, economics, and nitrogen use efficiency of different wheat cultivars under varying nitrogen levels. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1228221. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1228221

Ledesma-Ramírez, Lourdes, Solís-Moya, Ernesto, Suaste-Franco, M. Pilar, Rodríguez-Caracheo, J. Fermín, & Cruz-Gonzalez, M. Lourdes de la. (2012). Análisis GGE BIPLOT del rendimiento de trigo (Triticum spp.) con riego normal y restringido en El Bajío, México. Agrociencia, 46(2), 119-131. Recuperado en 08 de mayo de 2026.

Lenoir, A., Slafer, G. A., Siah, A., & Dumont, B. (2023). Plasticity of wheat yield components in response to nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy, 150*, 126933. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126933

Sharma, S., Kumar, T., Foulkes, M. J., Orford, S., Singh, A. M., Wingen, L. U., & Karnam, V. (2023). Nitrogen uptake and remobilization from pre- and post-anthesis stages contribute towards grain yield and grain protein concentration in wheat grown in limited nitrogen conditions. *CABI Agriculture and Bioscience, 4*(12), 1–14. https://doi.org/10.1186/s43170-023-00153-7

Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2020). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research, 157*, 71–83. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004

Yokamo, S., Irfan, M., Huan, W., Wang, B., Wang, Y., Ishfaq, M., Lu,D., Chen, X., Cai, Q., & Wang, H. (2023). Global evaluation of key factors influencing nitrogen fertilization efficiency in wheat: A recent meta-analysis (2000–2022). *Frontiers in Plant Science, 14*, 1272098. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1272098

Zhang, Y., Zhang, Y., Wang, Z., & Chen, J. (2021). Nitrogen use efficiency and sustainable wheat production under different nitrogen management strategies. *Agronomy, 11*(6), 1158. https://doi.org/10.3390/agronomy11061158

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE MAÍZ TROPICAL BAJO RIEGO NORMAL Y RESTRINGIDO

Oralia Antuna Grijalva[1*], Armando Espinoza Banda[1], Enrique Andrio Enríquez[2], Diana L. Vizcarra Manríquez[1], Jorge Quiroz Mercado[1], Blanca E. Zamora Martínez[1], Alejandro Moreno Resendez[1], Eulalio Delgado Rico[1] y Nancy Ogaz Camacho[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez, Col. Valle Verde, Torreón, Coah., México, C.P. 27054, [2]Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan Av. Tecnológico No.21 San Bartolo, Tuxtepec, Oaxaca, México, C.P.68446. *Autor para correspondencia: antunagrijalvao019@gmail.com

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicado en Torreón, Coahuila, México. El material genético estuvo conformado por 50 genotipos de maíz tropical de ciclo tardío, procedentes del banco de germoplasma del Centro Internacional de Maíz y Trigo. La evaluación de los genotipos se realizó durante el ciclo primavera-verano 2025, bajo dos condiciones de humedad: 1) riego normal y 2) riego deficitario. Para ello, se empleó un diseño experimental alfa látice, integrado por 30 bloques y 5 tratamientos por bloque, distribuidos en tres repeticiones. Las variables analizadas fueron: floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), acame de raíz (AR), cobertura (COB), aspecto de mazorca (AMZ), porcentaje de mazorcas podridas (MP), rendimiento de mazorca (RMZ. Los genotipos evaluados bajo condiciones de riego normal presentaron mayores valores en AP, AM y RMZ. Por el contrario, bajo riego deficitario, los materiales mostraron un ciclo más tardío, mayor acame de raíz. El genotipo T03 registró el mayor rendimiento, mostrando diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás genotipos. Además, el aspecto de mazorca presentó una asociación positiva con el porcentaje de mazorcas podridas (0.77**); sin embargo, esta última variable aparentemente influyó de manera negativa sobre el rendimiento de mazorca (-0.61**).

Palabras clave: *Zea mays* L., *evaluación agronómica, riego normal, riego restringido*

ABSTRACT

The study was conducted at the experimental field of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, located in Torreón, Coahuila, Mexico. The genetic material consisted of 50 late-maturing tropical maize genotypes obtained from the germplasm bank of the Centro Internacional de Maíz y Trigo. The evaluation of the genotypes was carried out during the 2025 spring–summer growing season under two moisture conditions: 1) normal irrigation and 2) deficit irrigation. An alpha-lattice experimental design was used, consisting of 30 blocks and 5 treatments per block, distributed in three replications.

The variables evaluated were: male flowering (FM), female flowering (FF), plant height (AP), ear height (AM), root lodging (ART), plant cover (COB), ear appearance (AMZ), percentage of rotten ears (MP), ear yield (RMZ), senescence 1 (SEN1), and senescence 2 (SEN2). The genotypes evaluated under normal irrigation conditions showed higher values for AP, AM, and RMZ. In contrast, under deficit irrigation conditions, the materials exhibited a later growth cycle, greater root lodging, and increased senescence. Genotype T03 recorded the highest yield, showing statistically significant differences compared to the other genotypes. Furthermore, ear appearance was positively associated with the percentage of rotten ears (0.77**); however, this variable apparently had a negative influence on ear yield (-0.61**).

Keywords: Zea mays L., *agronomic evaluation, normal irrigation, deficit irrigation.*

INTRODUCCIÓN

La clasificación de los ambientes de cultivo del maíz se basa principalmente en las condiciones climáticas y la latitud donde se desarrolla el cultivo. Los maíces tropicales se cultivan entre la línea ecuatorial y los 30° de latitud norte y sur, mientras que los ambientes subtropicales se localizan entre los 30° y 34° de latitud. Además, los genotipos de maíz se agrupan en tropicales de tierras bajas, subtropicales de tierras bajas y media altitud, y tropicales de tierras altas, de acuerdo con su adaptación ambiental (Dowswell *et al*., 2018).

La adaptación de los genotipos no depende únicamente de la latitud y altitud, sino también de factores climáticos como la temperatura durante el ciclo de crecimiento. Asimismo, el Centro Internacional de Maíz y Trigo considera características adicionales para clasificar los mega ambientes del maíz, tales como el ciclo de madurez, el tipo y color de grano, debido a su influencia en la adaptación y aceptación de los materiales genéticos.

En las zonas tropicales y subtropicales, la productividad del maíz puede verse limitada por diversos factores abióticos, entre ellos la sequía, el exceso de humedad, la deficiencia de nitrógeno, la acidez del suelo, la toxicidad por aluminio y la salinidad. De estos factores, la escasez de agua representa una de las principales restricciones para la producción agrícola, lo que ha impulsado el desarrollo de estrategias para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Entre estas destaca el Riego Deficitario Controlado (RDC), técnica que consiste en aplicar menores volúmenes de agua que los considerados óptimos, sin afectar significativamente el crecimiento y rendimiento del cultivo (Doorenbos y Kassam,1979).

El propósito de esta investigación fue evaluar 50 colectas de maíz tropical bajo condiciones de riego normal y deficitario, con el fin de identificar y seleccionar los genotipos más sobresalientes en función de su adaptación, potencial de rendimiento y características agronómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético estuvo conformado por 50 genotipos de maíz tropical provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La evaluación se realizó durante el ciclo primavera-verano 2025 en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicado en Torreón, Coahuila. El material genético se evaluó bajo condiciones de riego normal y restringido. Se utilizó un diseño alfa látice con 30 bloques y cinco tratamientos por bloque, distribuidos en tres repeticiones. La parcela experimental consistió en surcos de 5 m de longitud, con una separación de 0.75 m entre surcos y 0.25 m entre plantas.

Los caracteres evaluados fueron: días a floración femenina (FF), cuantificados como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron estigmas receptivos; días a floración masculina (FM), determinados como el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron anteras dehiscentes; altura de mazorca (AM), medida en metros desde el nivel del suelo hasta el punto de inserción de la mazorca; y altura de planta (AP), registrada en metros desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera.

El acame de raíz (AR) se evaluó considerando aquellas plantas caídas o desviadas más de 30° respecto a la vertical. La cobertura de mazorca (COBM) se registró como el número de mazorcas por parcela que, antes de la cosecha, presentaban alguna parte expuesta. Esta variable se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1 correspondió a una cobertura excelente y 5 a una cobertura deficiente.

El aspecto de mazorca (AMZ) se calificó después de la cosecha, considerando daño por enfermedades e insectos, tamaño de mazorca, llenado de grano y uniformidad, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 representó la mejor calidad y 5 la más deficiente. La pudrición de mazorca (MP) se cuantifica al momento de la cosecha como el número de mazorcas con pudrición, expresándose en porcentaje con respecto al total de mazorcas cosechadas. El rendimiento de mazorca (RMZ) se obtuvo a partir del peso total de las mazorcas cosechadas por parcela, expresado en kilogramos.

El análisis de varianza de cada una de las variables evaluadas se realizó utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute, 2002). Asimismo, se efectuó la comparación de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) y un análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza correspondiente a nueve variables evaluadas en 50 genotipos de maíz. Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.01) entre tratamientos para todas las variables analizadas. Asimismo, se detectaron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.01) en la fuente de variación CR para todas las variables medidas, con excepción del aspecto de mazorca. Este resultado era esperado debido al origen genético de los tratamientos.

En la interacción CR×Trat, únicamente las variables floración femenina (FF) y altura de mazorca (AM) mostraron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.01), en contraste con las demás variables evaluadas. Los coeficientes de variación fluctuaron entre 2.19 % para floración masculina (FM) y 51.8 % para la variable pudrición de mazorca (PM). El alto coeficiente de variación observado en las variables PM y AR posiblemente se deba a la metodología empleada, lo que generó una mayor dispersión de los datos respecto a la media. Por ello, se recomienda realizar una transformación de los datos para mejorar la precisión y el alcance del análisis de varianza (Rodríguez y Sánchez, 2024).

Cuadro 1. Análisis de varianza para nueve variables evaluadas para 50 genotipos de maíz tropical.

FV	CR	Rep(CR)	Blo(CR*Rep)	Trat	CRxTrat	Error	C.V.(%)	Media
gl	1	4	54	49	49	142		
FM	345.61**	7.42*	9.06**	186.03**	3.39	2.58	2.19	73.42
FF	1404.00**	55.00	57.11	155.55**	147.61**	46.63	8.78	77.70
AP	4.25**	0.73**	0.14**	0.25**	0.06	0.05	8.68	2.61
AM	1.04**	0.15*	0.11**	0.22**	0.10**	0.05	12.64	1.78
AR	11.60**	2.24**	0.54**	1.00**	0.28	0.31	32.42	1.74
COB	0.12**	0.05	0.04	0.16**	0.03	0.03	13.04	1.33
PM	6343.40**	520.07*	183.27*	623.58**	154.92	122.86	51.8	21.39
AMZ	0.52	4.31**	0.91**	2.59**	0.4	0.31	18.25	3.05
RMZ	45.8**	53.5**	6.81**	13.69**	1.42	1.73	25.65	5130.65

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; CR: condición de riego normal y restringido, FM: días a floración femenina, FM: días a floración masculina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, AR: acame de raíz, COB: cobertura de mazorca, PM: pudrición de mazorca, AMZ: aspecto de mazorca y RMZ: rendimiento de mazorca.

Con respecto al efecto de la condición de riego, los genotipos evaluados presentaron, en promedio, mayor altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y rendimiento de mazorca (RMZ) bajo riego óptimo. En contraste, bajo riego deficitario los

genotipos mostraron un ciclo más tardío, mayor acame de raíz y un rendimiento menor (Cuadro 2).

Los efectos descritos anteriormente pueden explicarse debido a que, en la condición de riego deficitario, a partir de los 50 dds se aplicó únicamente la mitad del agua suministrada en el riego óptimo. Esta condición de estrés hídrico tal vez promovió el desarrollo de plantas con menor vigor.

Cuadro 2. Efecto de la condición de riego en las variables evaluadas en 50 genotipos de maíz tropical.

Variables	Condición de riego	
	Óptimo	Restringido
FM	72.3 b	74.5 a
FF	75.5 b	79.9 a
AP	2.74 a	2.50 b
AM	1.85 a	1.73 b
AR	1.55 b	1.94 a
COB	1.36 a	1.32 b
PM	26.0 a	16.80 b
AMZ	3.10 a	3.01 a
RMZ	5521.40 a	4739.90 b

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, FM: días a floración femenina, FM: días a floración masculina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, AR: acame de raíz, COB: cobertura de mazorca, PM: pudrición de mazorca, AMZ: aspecto de mazorca y RMZ: rendimiento de mazorca.

Los promedios de las nueve variables evaluadas en los 20 mejores tratamientos se presentan en el Cuadro 3. Se observa que, en el tratamiento 03, el 50 % de la floración masculina (FM) y femenina (FF) ocurrió a los 68.3 y 69.3 días, respectivamente, lo que lo posicionó como el material más precoz en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento 47 fue el más tardío, con 84.6 días a floración masculina y 91.3 días a floración femenina.

En cuanto a la altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM), los valores más altos se registraron en el tratamiento 50, con 3.08 m y 2.22 m, respectivamente. Le siguió el tratamiento 36, con 2.89 m de altura de planta y 2.02 m de altura de mazorca, así como el tratamiento 42, que presentó 2.82 m de altura de planta y 1.97 m de altura de mazorca. Estos resultados son característicos de híbridos establecidos bajo condiciones de manejo con riego (Espinosa-Calderón et al., 2018; Alonso-Sánchez et al., 2023; Gómez-Montiel et al., 2023).

El menor acame de raíz (AR) se registró en los tratamientos 03, 32, 16 y 23. En cuanto a la pudrición de mazorca (PM), los valores más bajos se observaron en el tratamiento 03 con 2.33 %, seguido de los tratamientos 31 y 23, con 11.17 % y 11.00 %, respectivamente. Por el contrario, la mayor incidencia de infección se presentó en los tratamientos 47 (29.17 %), 05 (20.33 %) y 24 (19.67 %). Se observó que el incremento en la pudrición de mazorca se asocia con una disminución en el rendimiento (González et al., 2007), situación que se refleja en estos materiales, ya que se ubicaron dentro del grupo de menor rendimiento en comparación con los demás tratamientos evaluados.

Respecto a la cobertura de mazorca (COB) y al aspecto de mazorca, los tratamientos presentaron valores aceptables de acuerdo con las escalas de evaluación empleadas, las cuales oscilaron de 1 a 5, donde 1 corresponde a una condición aceptable y 5 a una condición deficiente.

En relación con el rendimiento de mazorca (RMZ), los tratamientos 03 (10,560.0 kg ha^{-1}), 32 (8,213.3 kg ha^{-1}) y 11 (7,893.3 kg ha^{-1}) registraron los valores más altos en comparación con los demás tratamientos, lo que sugiere un buen potencial de adaptación y expresión productiva en diferentes ambientes. En contraste, el tratamiento 42 presentó el menor rendimiento, con 5,626.7 kg ha^{-1}.

Los tratamientos con mayor rendimiento fueron el 03 (10,560.0 kg ha^{-1}), 32 (8,213.3 kg ha^{-1}) y 11 (7,893.3 kg ha^{-1}), los cuales superaron al resto de los tratamientos evaluados. Estos resultados sugieren que dichos materiales poseen un buen potencial de adaptación y capacidad productiva en diferentes ambientes.

Cuadro 3. Promedio de los 20 mejores tratamientos de maíz tropical

Tratamientos	FM (d)	FF (d)	AP (m)	AM (m)	AR (%)	COB	PM (%)	AMZ	RMZ (kg ha^{-1})
03	68.30	69.3	2.38	1.48	0.78	1.20	2.33	1.17	10560.0
32	71.00	75.8	2.45	1.84	2.05	1.20	15.17	2.08	8213.3
11	68.20	71.0	2.55	1.74	1.78	1.33	12.83	2.33	7893.3
50	79.30	85.0	3.08	2.22	2.55	1.33	18.50	3.08	7706.6
28	72.00	75.3	2.76	1.84	1.71	1.20	12.33	2.25	7404.4
47	84.60	91.3	2.86	2.13	1.78	1.46	29.17	3.25	6328.9
27	71.60	78.5	2.54	2.05	0.93	1.20	17.17	2.50	6320.0
29	79.00	82.2	3.15	2.11	2.05	1.26	15.17	3.33	6320.0
16	69.16	73.5	2.61	1.70	1.26	1.20	18.83	2.67	6204.5
2	73.00	78.0	2.93	1.99	1.66	1.58	11.42	2.58	6177.8
10	70.50	74.5	2.53	1.73	2.05	1.60	18.33	2.92	6080.0
31	72.33	76.2	2.72	1.94	1.53	1.51	11.17	2.58	5991.1
5	71.00	75.2	2.59	1.85	2.01	1.58	20.33	2.83	5964.4
23	70.33	74.5	2.79	1.76	1.48	1.20	11.00	2.67	5946.7
26	71.16	75.3	2.39	1.61	1.13	1.26	13.50	2.83	5920.0
6	69.66	71.0	2.23	1.45	1.3	1.20	10.50	2.67	5840.0
36	71.66	75.3	2.89	2.02	1.51	1.20	12.17	2.75	5751.1
30	72.16	78.2	2.61	1.8	1.51	1.26	13.17	3.25	5688.9
24	72.83	78.5	2.54	1.86	1.71	1.20	19.67	2.92	5635.5
42	75.00	80.8	2.82	1.97	2.28	1.33	17.00	3.17	5626.6
MG	73.40	77.7	2.61	1.78	1.74	1.35	21.40	3.06	5130.7
MS	72.60	77.0	2.70	1.90	1.70	1.30	15.00	2.70	6578.7
DMS	3.79	16.1	0.53	0.53	1.33	0.41	26.14	1.31	3104.8

FM: días a floración femenina, FM: días a floración masculina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, AR: acame de raíz, COB: cobertura de mazorca, PM: pudrición de mazorca, AMZ: aspecto de mazorca y RMZ: rendimiento de mazorca.

CONCLUSIONES

En el efecto de la condición de riego, los genotipos evaluados presentaron, en promedio, mayor altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y rendimiento de mazorca (RMZ) bajo condiciones de riego óptimo. En contraste,

bajo riego deficitario, los genotipos exhibieron un ciclo más tardío, mayor acame de raíz y una disminución en el rendimiento.

Los tratamientos con mayor rendimiento fueron el 03 (10,560.0 kg ha^{-1}), 32 (8,213.3 kg ha^{-1}) y 11 (7,893.3 kg ha^{-1}).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., López-López, C., Zamudio-González, B., Monter-Santillán, A., Turrent-Fernández, A., Arteaga-Escamilla, I. y Mora-García, K. (2023). Efecto de la densidad de población y la fertilización sobre la productividad del agua y rendimientos de híbridos de maíz en el Valle de México. Terra Latinoamericana, 41,(15). https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1577

Cantrell, R. P., Paliwal, R. L., & Dowswell, C. R. (2018). *Maize in the third world*. CRC Press.

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.

Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Virgen-Vargas, J., Turrent-Fernández, A., Rojas-Martínez, I., Gómez-Montiel, N., Sierra-Macías, M., López-López, C., Palafox-Caballero, A., Vázquez-Carrillo, G., RodríguezMontalvo, F., Canales-Islas, E., Zaragoza-Esparza, J., Martínez-Yañez B., Valdivia-Bernal, R., Cárdenas-Marcelo, A., Mora-García, K. y Martínez-Nuñez, B. (2018). H-47 AE, Híbrido de maíz para valles altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana, 41 (1), 87-89. https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.87-89

Gomez-Montiel, N., Hernandez-Galeno, C., Anzures-Olvera, F., Tadeo-Aguilar, R., Ramírez-Díaz, J., Espinosa-Calderon, A., Tadeo-Robledo, M., Santos-Echeverria, R. y Antunez- Ocampo, O. (2023). Variedad mejorada de maíz de grano amarillo para pequeños ganaderos del trópico seco. Agro-Divulgación, 3 (3). https://doi.org/10.54767/ad.v3i3.186

González Huerta, A., Vázquez García, L. M., Sahagún Castellanos, J., Rodríguez Pérez, J. E., & Pérez López, D. D. J. (2007). Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura técnica en México*, *33*(1), 33-42.

Rodríguez, S. A. L., & Sánchez, H. A. (2024). Riego deficitario sostenido en híbridos de maíz de Valles Altos de México.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE CRIADERO DE TILAPIA (*Oreocromis niloticus*)

Arturo Guadalupe Vera Rivera; Luis A. Ramírez Pulquero; Jesús David Joaquín[1]; Berenice Rivera Cortez[2]; Erika Cañada Coyote[3]; José Gómez Espinoza[1*]

[1]Ingeniería en hidrológica TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, México, [2]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Doctorado en Biotecnología Agroalimentaria, TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110 Autor de correspondencia: gomez2205jge@gmail.com

RESUMEN

La calidad del agua es un factor determinante para la supervivencia y el rendimiento productivo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de cultivo, especialmente en estanques donde la acumulación de sedimentos y la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos pueden comprometer el éxito del cultivo. Este estudio evaluó la efectividad de la implementación de sistemas de filtración mecánica combinados con un protocolo riguroso de monitoreo de datos, con el objetivo de optimizar la remoción de sólidos y el aprovechamiento del recurso hídrico. Mediante el análisis estadístico de las variables medidas, se determinó la viabilidad y eficacia de estas medidas en la mejora de la calidad del agua. Los resultados permiten establecer una base técnica para la sostenibilidad de sistemas de recirculación en acuacultura, demostrando que la gestión adecuada de la filtración y el control de parámetros son esenciales para la salud del pez y la eficiencia del recurso hídrico.

Palabras clave: *Filtración, recirculación, calidad, agua, tilapia.*

ABSTRACT

Water quality is a determining factor for the survival and productive performance of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaculture systems, particularly in shallow ponds where sediment accumulation and fluctuations in physicochemical parameters can compromise the success of the crop. This study evaluated the effectiveness of implementing mechanical filtration systems combined with a rigorous data monitoring protocol, aiming to optimize solid removal and water resource utilization. Through statistical analysis of the measured variables, the viability and efficacy of these measures in improving water quality were determined. The results establish a technical basis for the sustainability of recirculation systems in aquaculture, demonstrating that proper filtration management and parameter control are essential for fish health and water resource efficiency.

Keywords: f*iltration, water, recirculation, quality, tilapia*

INTRODUCCIÓN

Un sistema de recirculación acuícola (RAS) se utiliza para aprovechar y reutilizar el recurso hídrico en la acuacultura acuícola, en la que menos del 10% del agua es remplazada diariamente, por lo que el uso del agua en estos es más eficiente que en técnicas tradicionales significativamente el consumo de agua Flores, O. M. (2024). si bien, la filtración es un proceso fundamental cuya función es eliminar las impurezas presentes en el agua para su tratamiento posterior Dentro de este marco, la producción de organismos vivos en ambientes acuáticos ha emergido como un sector primario clave. La disponibilidad de agua permite tener el elemento básico para proveer parte de los recursos necesarios para el sistema de producción. Contar con agua suficiente y de buena calidad, la cual, es necesario para garantizar la producción y reproducción de tilapia. Las propiedades físico-químicas del agua como temperatura, oxígeno, pH y transparencia son las de mayor importancia, sin embargo, conocer los valores óptimos y mantenerlos en el sistema de producción es necesario Gutiérrez, M. C. (2023)

La tilapia es un organismo de fácil manejo, resistente a factores fisicoquímicos y acepta alimento balanceado, su correcto manejo permite obtener dos cosechas al año. La tilapia se cultiva en invernadero por varias razones, mantenerla en temperatura óptima para su desarrollo y protegerlas de posibles depredadores Gutiérrez, M. C. (2023). En el Instituto Tecnológico de Roque (TECNM-Roque) se opera un sistema intensivo de producción de tilapia, que incluye seis estanques circulares de geomembrana ubicados en el área acuícola y abastecidos por el pozo institucional. Las actividades esenciales para el buen funcionamiento del sistema de producción son la nutrición, el cuidado de los peces y el monitoreo constante de los parámetros climáticos y de la calidad del agua, lo que ayuda a mantener la calidad del agua sin necesidad de recambios constantes.

Actualmente, al desaprovecharse el agua residual de los estanques, se pierden 2 800 L cada tercer día con altas concentraciones de residuos nitrogenados (amoniaco, nitritos y nitratos). Esto constituye un problema ambiental para la unidad. La implementación de sistemas RAS representa una estrategia clave para la optimización del uso del agua, permitiendo su reutilización y reduciendo significativamente el consumo total Rivera, A. G. (2025). por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue la implementación de sistemas de filtrado mecánicos para optimizar la calidad del recurso y para su recirculación, para evaluar la efectividad de diversos sistemas de filtrado físico y la remoción de sólidos, con el fin de promover la recirculación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área acuícola del Tecnológico Nacional de México Campus Roque (TecNM-Roque), ubicado en el estado de Guanajuato, México 20.583556500427132, -100.82715532276465. Además, se analizaron las muestras tomadas en del el Laboratorio de Aguas y Suelos del instituto.

El diseño experimental constó de un arreglo completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en distintos medios filtrantes para la remoción de sólidos en RAS.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos durante el estudio

Número	Abreviación	Descripción del tratamiento	Material y cantidad
1	Trat 1	Filtrado con grava gruesa	15 kg de grava gruesa + malla adaptable
2	Trat 2	Filtrado con grava fina	20 kg de grava fina + malla adaptable
3	Trat 3	Filtrado con tezontle	15 kg de tezontle + malla adaptable
4	Trat 4	Filtrado mixto	5 kg grava gruesa, 10 kg tezontle, 5 kg grava fina + malla adaptable
Testigo	Trat 5	Muestra sin tratamiento	Toma de muestra directa (sin filtro)

Trat1= Tratamiento 1; Trat2= Tratamiento 2; Trat3= Tratamiento 3; Trat 4= Tratamiento 4; Trat 5= Tratamiento 5.

Los datos obtenidos de las siete tomas semanales se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre los parámetros de calidad del agua. Se realizó un análisis de Matriz de correlación de Pearson para parámetros de calidad del agua, además de un Análisis por Factores para determinar la correlación y dirección de la relación lineal entre las variables fisicoquímicas (pH, nitratos y nitritos). Los datos se analizaron estadísticamente con un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0.05$), con el programa SAS 9.4 (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los parámetros fisicoquímicos reveló diferencias significativas en el desempeño de los tratamientos de filtrado en comparación con el testigo. Los resultados indican que los sistemas de filtrado mecánico, particularmente el TRAT 4, lograron una reducción notable en la concentración de sólidos suspendidos y compuestos nitrogenados. En la Figura.1 se observa el Análisis de correlación por Factores, el cual muestra la relación entre las variables estudiadas. donde se puede observar una agrupación clara de las variables evaluadas (Amoniaco, Nitritos y Conductividad Eléctrica). El círculo de correlación obtenido mediante el Análisis permite identificar la relación existente entre los parámetros de calidad del agua evaluados, así como su contribución a la variabilidad del sistema.

En el gráfico se observa que los parámetros nitritos y amoníaco presentan vectores con direcciones muy similares y un ángulo reducido entre ellos, lo que indica una correlación positiva fuerte. Este comportamiento sugiere que ambos compuestos tienden a incrementarse de manera simultánea, lo cual es característico de procesos asociados a la descomposición de materia orgánica o a la presencia de descargas de aguas

residuales. Por su parte, los nitratos muestran una dirección cercana a la de los nitritos y el amoníaco, aunque con menor magnitud, lo que indica una correlación positiva moderada. Esto puede estar relacionado con procesos de nitrificación incompleta dentro del sistema acuático.

La conductividad eléctrica presenta un vector orientado principalmente en el eje vertical, con una dirección casi perpendicular respecto a los compuestos nitrogenados. Esta disposición indica que su comportamiento es independiente o poco correlacionado con los nitratos, nitritos y amoníaco. En términos ambientales, esto sugiere que la conductividad está más influenciada por la concentración de sales disueltas que por la contaminación orgánica. En cuanto al pH y los sedimentos, ambos parámetros se ubican en el mismo cuadrante y con direcciones similares, lo que evidencia una correlación positiva entre ellos. Además, su orientación es opuesta a la de los compuestos nitrogenados, indicando una correlación negativa. Esto implica que incrementos en sedimentos o variaciones en el pH podrían estar asociados a menores concentraciones de nitrógeno disuelto, o a condiciones fisicoquímicas distintas en el cuerpo de agua. En conjunto, el análisis permite identificar dos comportamientos principales: por un lado, un grupo de variables asociadas a contaminación orgánica (nitritos, amoníaco y en menor medida nitratos), y por otro, variables relacionadas con condiciones fisicoquímicas del agua (conductividad, pH y sedimentos), las cuales presentan dinámicas distintas dentro del sistema.

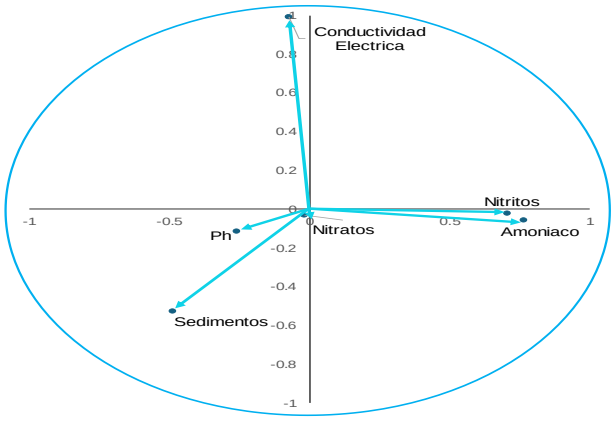


Figura.1 Análisis por Factores

El análisis de correlación de Pearson cuadro.2 cuantifica estas relaciones. Se identificó una correlación positiva (DMS P ≤0.01), entre Nitritos y Amoniaco (DMS P ≤ 0.05), así como entre Nitritos y Conductividad Eléctrica (DMS P ≤ -0.349), lo cual, es consistente con el ciclo del nitrógeno en sistemas acuícolas donde la acumulación de amoniaco conduce a la formación de nitritos. Un hallazgo crucial fue la correlación negativa significativa entre Sedimentos y Conductividad Eléctrica (α=-0.582**) y entre Sedimentos y Amoniaco (α = -0.331**). Esto sugiere que a medida que los filtros removían eficientemente los sedimentos (especialmente el

TRAT 4 con mezcla de grava y tezontle), se reducía también la carga de amoniaco y la conductividad, lo que confirma la hipótesis de que la filtración mecánica es un paso previo indispensable para controlar los parámetros químicos disueltos.

Interpretación de los tratamientos El TRAT 4 (mezcla de 5 kg grava gruesa, 10 kg tezontle y 5 kg grava fina) demostró ser el más eficiente, alineándose con los principios de filtración en capas múltiples descritos por Ebeling et al. (2021). La combinación de medios de diferentes tamaños de partícula permitió una retención mecánica profunda (efecto de tamizado) y una mayor área superficial para la adsorción, lo que explica la menor concentración de sedimentos y su correlación con la reducción de amoniaco. Por otro lado, el testigo (TRAT 5) mostró los valores más altos de amoniaco y nitritos, confirmando que la ausencia de filtración mecánica acelera la acumulación de tóxicos. Estos resultados validan lo planteado por Chaverra-Garcés (2022), quien señala que la acumulación de sólidos es un aspecto crítico que, si no se gestiona, impacta directamente en la calidad química del agua y la salud de los organismos.

La variable pH no mostró correlaciones fuertes con los demás parámetros ($\alpha < 0.22$), lo que indica que, en este periodo de estudio, el pH se mantuvo relativamente estable independientemente de la carga de sedimentos o nitratos, probablemente debido a la capacidad buffer del agua de pozo utilizada en el sistema. Implicaciones para la recirculación La fuerte correlación negativa entre sedimentos y parámetros de contaminación (amoniaco y conductividad) respalda la estrategia de implementar sistemas de filtrado mecánico robustos en los RAS. Como mencionan D'Orbcastel et al. (2023), el control efectivo de los sólidos suspendidos es el primer paso para optimizar la calidad del agua y reducir la necesidad de recambios, permitiendo la reutilización del agua y minimizando el impacto ambiental.

Cuadro.2 Matriz de correlación de Pearson para parámetros de calidad del agua

Variable	Nitra	Nitri	Amoni	Ph	Cond	Sedi
Nitratos	1					
Nitritos	-0.053	1				
Amoniaco	-0.056	0.535**	1			
pH	-0.007	-0.173	-0.179	1		
Conductividad	-0.028	-0.349**	-0.003	-0.213*	1	
Sedimentos	0.031	-0.349**	-0.331**	0.223	-0.582**	1

Nitra=Nitratos; Nitri= Nitritos; Amoni= Amonio; Ph= Potencial De Hidrogeno; Cond= Conductividad Eléctrica; Sedi= Sedimentos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio demostró que la implementación del RAS mejora significativamente la calidad del agua, al favorecer la remoción de sólidos suspendidos y disminuir la concentración de contaminantes asociados. Entre los

tratamientos evaluados, el TRAT 4 destacó por su mayor eficiencia. Así mismo, se comprobó que la reducción de sedimentos influye directamente en parámetros químicos de mayor relevancia; como el amoniaco y la conductividad eléctrica, contribuyendo a un ambiente más seguro para la tilapia. Por lo cual, filtros de bajo costo y fácil construcción representa una alternativa sustentable y accesible para pequeñas y medianas instalaciones acuícolas, promoviendo una acuacultura más eficiente y ambientalmente responsable.

CONCLUSIONES

La recirculación del agua es un mecanismo adecuado para el cultivo de tilapia

Su elaboración puede ser económica y eficiente

Que las pequeñas y medianas empresas pueden buscar alternativas más baratas y eficientes en la cría de tilapia

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Chaverra-Garcés, B. A. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: Alternativas para una gestión sostenible. Orinoquia, 26(1), 92–104.

D'Orbcastel, E., Bleuzen, V., & Le Gac, M. (2023). Monitoring and control strategies in recirculating aquaculture systems: A review of recent advances. Aquacultural Engineering, 100, 102315. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102315

Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2021). Engineering analysis of the solids removal efficiency of mechanical filters in recirculating aquaculture systems. Aquacultural Engineering, 93, 102142. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102142

Flores, O. M. (2024). Diseño y construcción de un sistema acuíponico familiar en la región de Celaya, Guanajuato. Revista Número 26, 537–542.

Fontalvo, N. P. M., Suárez, L. M. H., & Rodríguez, J. A. (2022). An opportunity for more sustainable water treatments. Water, Air, & Soil Pollution, 233(5), 167–180. https://doi.org/10.1007/s11270-022-05638-7

Gutiérrez, M. C. (2023). Tecnología intermedia para la producción de la tilapia. Tecnológico Nacional de México. 978-607-7912.

Hassan, A., Zubair, M., & Khan, S. (2024). Statistical analysis for water quality data using ANOVA. Journal of Water Research and Technology, 18(3), 102–115. https://doi.org/10.30956/jwrt.2024.18.3.07

Revista de Acuicultura. (2022). Sistemas de recirculación y filtración en la optimización del uso del agua en acuicultura. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Rivera, A. G. (2025). Diseño de un sistema de recirculación y filtración de agua de criadero. Revista Tecnológica CEA, 10(31), 487–496.

Saldaña Escorcia, R., Salazar Sánchez, M., Rodríguez Barbosa, L., Hernández Martínez, I., & Sánchez Álvarez, N. (2022). Calidad del agua para el cultivo de tilapia roja (Oreochromis sp.) en etapa de alevinaje con tecnología

biofloc. En J. Martínez Garcés (Ed.), Avances en investigación científica (1.ª ed., Vol. 3, pp. 289–301). Corporación Universitaria Autónoma de Nariño.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE EFECTOS DE DIFERENTES FILTROS HÍDRICOS PARA UN MEJOR REPROCESAMIENTO Y MAYOR CALIDAD DEL AGUA

Guillermo Enrique Cruz Nicanor[1]; Arturo Guadalupe Vera Rivera[2]; Luis A. Ramírez Pulquero[1]; Jesús David Joaquín Cuarenta[2], Berenice Rivera Cortez[3], Davino Pérez Mendoza[3], José Gómez Espinoza[1]*

[1]Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, [2]Ingenieria en Hidrológica, TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, México, Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México Autor de correspondencia: gomez2205jge@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas de recirculación acuícola (RAS) requieren de una filtración eficiente que combine la remoción mecánica de sólidos con la transformación biológica de compuestos nitrogenados tóxicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de cuatro configuraciones de filtración grava (TRAT 1), malla (TRAT 2), tezontle (TRAT 3) y un diseño mixto en gradiente con grava gruesa, tezontle y grava fina (TRAT 4) frente a un testigo sin filtrar (TRAT 5), sobre los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, conductividad, sedimentos, nitratos y nitritos). Se implementó un diseño experimental con siete fechas de muestreo y tres repeticiones, analizado mediante ANOVA bifactorial y prueba de Tukey (α=0.05). La interacción Fecha × Tratamiento fue altamente significativa ($p<0.01$) para todas las variables. El filtro mixto (TRAT 4) demostró el mejor desempeño integral al reducir los sedimentos en un 84% respecto al testigo (5.15 vs. 32.31 mg/L) y alcanzar la mayor producción de nitratos (52.14 ppm), indicador de una actividad nitrificante robusta. Se concluye que un diseño en gradiente con materiales complementarios ofrece una solución técnicamente superior para el tratamiento de agua en RAS.

Palabras clave: *acuacultura, biofiltro, nitrificación, recirculación acuícola, remoción de sólidos.*

ABSTRACT

Recirculating aquaculture systems (RAS) require efficient filtration that combines mechanical solids removal with biological transformation of toxic nitrogenous compounds. The objective of this study was to evaluate the efficiency of four filtration configurations gravel (TRAT 1), mesh (TRAT 2), tezontle (TRAT 3), and a mixed gradient design with coarse gravel, tezontle, and fine gravel (TRAT 4) against an unfiltered control (TRAT 5), on water physicochemical parameters (pH, conductivity, sediments, nitrates, and nitrites). A bifactorial ANOVA and Tukey test (α=0.05) were applied to data from seven sampling dates with three replicates. The Date × Treatment interaction was highly significant ($p<0.01$) for all variables. The mixed filter (TRAT 4) showed the best overall performance, reducing sediments by 84% compared to the control (5.15 vs. 32.31 mg/L) and achieving the highest nitrate production (52.14 ppm), indicating robust nitrifying activity. It is concluded that a gradient design with complementary materials offers a technically superior solution for water treatment in RAS.

Keywords: *aquaculture, biofilter, nitrification, recirculating aquaculture, solids removal*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de recirculación acuícola (RAS) permiten optimizar el uso del agua en acuacultura al reutilizarla disminuye de manera importante el consumo de agua dulce. (Ruiz, 2021), dentro de estos sistemas la filtración juega un papel esencial, ya que elimina las impurezas del agua y optimiza las acondiciones para su postratamiento (García, 2024), por otra parte, los filtros se han consolidado como una actividad primaria de gran relevancia en México, ha sido una adopción técnica gradual que se aceleró a partir de los años 80, se ha consolidado en décadas recientes (IMIPA, 2025).

En el Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Roque está establecido un sistema intensivo de producción la tilapia del Nilo (*oreochromis niloticus*) la más popular por su rápido crecimiento y rusticidad, en un estanque bien manejado puede alcanzar su peso comercial de 500 gramos en un periodo de 5 a 7 meses con buena alimentación, temperatura estable, además se deben considerar también los siguientes factores, manejo de sexo, los machos crecen más rápido y grandes que las hembras por tal motivo en el cultivo comercial se usan poblaciones monosexuales para evitar la sobrepoblación por reproducción y enfocar la energía en el crecimiento y niveles de oxígeno no menor de 3.5 mg/L para evitar que el pez se estrese y muera (Rivera Cortez et al., 2025).

El invernadero está compuesto por dos estanques circulares de geomembrana ubicados dentro del invernadero y alimentados con agua de pozo, las tareas principales del sistema son la nutrición, el manejo de los peces, el seguimiento continuo de los parámetros climáticos y de la calidad del agua, lo que ayuda a preservar esta última sin necesidad de renovaciones frecuentes con agua de pozo. Actualmente, cada tres días se descargan 2800 litros de agua de recambio/descarga, con altas concentraciones de compuestos nitrogenados (amoniaco, nitritos y nitratos), esta práctica genera un problema ambiental dentro de la unidad, ya que dichas aguas se vierten sin tratamiento. La implementación de sistemas RAS representa una estrategia clave para optimizar el uso del agua, al permitir su reutilización y reducir significativamente el volumen total consumido (Rivera, 2025).

En relación con sistemas de filtración eficientes resulta fundamental para mejorar la calidad del efluente y hacerlo viable para su reutilización en agricultura, mitigando así el impacto ambiental, a pesar de los avances en el conocimiento de los biofiltros existe poca información comparativa sobre el desempeño simultaneo de diferentes sustratos en las funciones mecánica y biológica dentro de un mismo sistema experimental. La eficiencia de cuatro sistemas de filtración, grava, malla, tezontle y un diseño mixto en gradiente frente a un testigo sin filtrar, sobre los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, conductividad, sedimentos, nitratos y

nitritos) a lo largo de un mes, para identificar el tratamiento que ofrezca el mejor balance entre remoción mecánica de sólidos y actividad biológica nitrificante, los resultados obtenidos con estos filtros por medio del método de ANOVA, cuadrados medios y medias, en un sistema de recirculación y filtrados físicos orientado a la extracción de sedimentos, con la finalidad de impulsar la recirculación por medio de uso de filtros para un mejor aprovechamiento del líquido vital. Por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de diferentes filtros hídricos para un mejor reprocesamiento y mayor calidad del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área acuícola del Tecnológico Nacional de México Campus Roque (TecNM-Roque), ubicado en el estado de Guanajuato, México 20.583556500427132, -100.82715532276465. Además, se analizaron las muestras tomadas en del el Laboratorio de Aguas y Suelos del instituto. Para ello se recolectaron muestras de aguas de los estanques de tilapia a través de un proceso de filtrado mecánico de las cuales fueron 3 repeticiones de 4 filtros y 1 testigos. Se transportaron al laboratorio de aguas y suelo del campus en recipientes de 1.2L, teniendo en cuenta, se evaluaron 4 configuraciones de filtro y 1 testigo sin filtrar. Todas las configuraciones actúan como filtro mecánico, reteniendo sólidos y biológico, sustrato para bacterias nitrificadas mediante los siguientes tratamientos:

Cuadro 1. Descripción de tratamientos durante el estudio

No	Abreviación	Descripción del tratamiento	Material y cantidad
1	Trat 1	Filtrado con grava gruesa	15 kg de grava gruesa + malla adaptable
2	Trat 2	Filtrado con grava fina	20 kg de grava fina + malla adaptable
3	Trat 3	Filtrado con tezontle	15 kg de tezontle + malla adaptable
4	Trat 4	Filtrado mixto	5 kg grava gruesa, 10 kg tezontle, 5 kg grava fina + malla adaptable
Testigo	Trat 5	Muestra sin tratamiento	Toma de muestra directa (sin filtro)

Trat1= Tratamiento 1; Trat2= Tratamiento 2; Trat3= Tratamiento 3; Trat 4= Tratamiento 4; Trat 5= Tratamiento 5.

La medición de pH y conductividad se realizó con un medidor multiparamétrico calibrado, los sedimentos se cuantificaron por gravimetría tras filtración y secado, para nitritos y nitratos se emplearon kits colorimétricos, introduciendo 5ml de agua en tubos de ensayo con adición de reactivos específicos. La aplicación de datos se extendió durante un mes con dos pruebas semanales resultando en siete fechas de muestreo cada una con tres repeticiones.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial con un nivel de significancia de 0.5 considerando los factores Fecha (FECH), Tratamiento (TRAT) y su interacción (FECH X TRAT). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. Todos los análisis se procesaron en el programa InfoStat versión 2020.

Se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos claves para evaluar la eficiencia del sistema, pH, indica la acide o alcalinidad del agua, (COND), conductividad eléctrica, mide la cantidad de sales disueltas cambios bruscos puede indicar contaminación, (SEDI) sedimentos, cuantifica los sólidos en suspensión es el indicador directo de la eficiencia del filtro para retener partículas y clarificar el agua, (NITRA) nitratos, producto final del ciclo del nitrógeno, mide la actividad del filtro biológico su acumulación indica que el proceso de nitrificación está ocurriendo, (NITRI) nitritos, compuestos intermedios y altamente toxico es el parámetro más crítico para evaluar la eficiencia del filtro biológico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios del ANAVA se presentan en el Cuadro 1. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas tanto en el factor Fecha como en Tratamiento para las cinco variables analizadas. La interacción FECH × TRAT resultó altamente significativa ($p < 0.01$) en todos los casos, lo que evidencia que el efecto de los tratamientos dependió directamente del momento de muestreo. Este hallazgo coincide con lo reportado por Hassan et al. (2024) y Cissé et al. (2024), quienes también detectaron interacciones significativas entre el tiempo y el tipo de tratamiento al evaluar sistemas de filtración acuícola. El coeficiente de variación fue reducido para pH (2.47%), nitratos (3.15%) y nitritos (6.06%), lo que refleja alta precisión experimental. La variable sedimentos presentó un C.V. mayor (19.51%), atribuible a la heterogeneidad natural de los sólidos en el agua de origen.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los parámetros fisicoquímicos

FV	pH	Cond	Sedi	Nitra	Nitri
(Fech)	0.25530159**	14834.1333**	202.279325**	15574.2244**	0.12407796**
(Trat)	0.23706048*	4767.5810*	2200.684454**	6588.0141**	0.01644504*
Fech*Trat	0.55899881**	11853.3476**	82.567141**	4625.9036**	0.02557963**
Error	0.04292571	1020.2190	10.98856	1.0833	0.00463975
C.V. (%)	2.467918	4.240689	19.51064	3.154039	6.061313

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$), ** = Diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), ns = No existe diferencia significativa estadística ($P \geq 0.05$), CV (%) = Coeficiente de variación; Fech = Fecha; Trat = Tratamiento; Fech*Trat = Fecha por tratamiento; Cond= Conductividad; Sedi = Sedimentos; Nitra = Nitratos; Nitri=Nitritos.

Los nitratos mostraron la mayor variación temporal: la fecha 4 registró un pico de 105.00 ppm, coincidente con la mayor concentración de nitritos (0.698 mg/L), lo que sugiere un pulso de materia orgánica o una perturbación puntual en el sistema que estimuló transitoriamente la actividad bacteriana. Comportamientos similares de fluctuación temporal fueron documentados por Martínez et al. (2024) en sistemas RAS con biofiltros de múltiples sustratos.

Cuadro 2. Medias por fecha de muestreo

FV	pH	Cond	Sedi	Nitra	Nitri
Fecha					

3	8.1947	a	785.93	b	11.9667	bcd	6.8333	e	0.06399225	c
4	8.3073	ab	739.33	a	13.1667	bc	105.00	a	0.69754841	a
6	8.3200	abc	730.47	a	8.6000	cd	48.5000	b	0.49695225	a
2	8.4220	abc	782.07	b	7.3167	d	39.5000	c	0.14190596	bc
7	8.4647	abc	745.89	ab	19.6167	a	7.0000	e	0.21330225	bc
1	8.4680	bc	704.93	a	15.7167	ab	10.0000	d	0.11915241	c
5	8.5893	c	783.80	b	12.4167	bc	6.0000	e	0.23988225	b

Conductividad (Cond), Sedimentos (Sedi), Nitratos (Nitra), Nitritos (Nitri). Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey α 0.05).

El pH exhibió un rango de fluctuación entre 8.19 y 8.59, con diferencias estadísticamente significativas entre fechas de muestreo, correspondiendo el valor máximo a la fecha 5 (8.58) y el mínimo a la fecha 3 (8.19), tal como se detalla en el cuadro 2. Respecto a los tratamientos, las lecturas significativamente superiores se obtuvieron en TRAT 5 (8.48) y TRAT 3 (8.46), en contraste con TRAT 2, que registró el valor más bajo (8.2343). Dichos hallazgos son consistentes con los de Fontalvo et al. (2022), quienes documentaron variaciones similares de pH durante la evaluación de sistemas acuícolas sometidos a tratamientos biológicos y fisicoquímicos. En cuanto a la concentración de nitratos (NITRA), se identificaron diferencias altamente significativas. Las máximas concentraciones se registraron en la fecha 4 (105.00 ppm) y en el TRAT 4 (52.1429 ppm), mientras que los valores mínimos se observaron en las fechas 3, 5 y 7, con niveles inferiores a 10 mg/L, así como en el tratamiento testigo (9.6429 ppm). Estos resultados concuerdan con las investigaciones de Sharma (2014) y Singh (2022), quienes señalaron que las concentraciones de nitrato pueden variar notablemente en función de la temporalidad del muestreo y la naturaleza del tratamiento aplicado. Respecto a los nitritos (NITRI), la fecha 4 presentó la mayor concentración (0.6975 mg/L), mientras que la fecha 3 exhibió la menor (0.0639 mg/L). A nivel de tratamientos, el valor promedio más alto se obtuvo en TRAT 2 (0.3909 mg/L) y el más bajo en TRAT 5 (0.2153 mg/L). El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual denota una variabilidad en la concentración de nitritos influenciada por las condiciones experimentales. Estos resultados guardan correspondencia con lo reportado por Hassan et al. (2024) y Cissé et al. (2024), quienes también informaron diferencias significativas en los niveles de nitritos asociadas a la temporalidad del muestreo

Cuadro 3. Prueba de comparación de medias por tratamiento.

Fuentes de variación	pH		Cond		Sedi		Nitra		Nitri	
Tratamientos										
Trat 2	8.2343	a	747.29	ab	32.3095	b	33.0952	c	0.39098436	a
Trat 1	8.3390	ab	777.57	b	7.5000	bc	13.5714	d	0.25171344	ab
Trat 4	8.4538	b	749.57	ab	5.1548	c	52.1429	a	0.30142464	ab
Trat 3	8.4652	b	736.95	a	8.7024	bc	50.7143	b	0.26000625	ab
Trat 5	8.4833	b	754.62	ab	32.3095	a	9.6429	e	0.21528576	b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, Conductividad (COND), Sedimentos (SEDI), Nitratos (NITRA), Nitritos (NITRI).

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el filtro mixto en gradiente (TRAT 4) compuesto por grava gruesa, tezontle y grava fina fue el tratamiento más eficiente para mejorar la calidad del agua en el sistema de recirculación acuícola evaluado. Este diseño demostró el mejor balance entre remoción mecánica de sólidos suspendidos (84 % de reducción frente al testigo) y actividad biológica nitrificante (52.14 ppm de nitratos producidos). Se recomienda la adopción de configuraciones en gradiente con materiales regionales, como el tezontle, para el diseño de filtros en sistemas RAS de pequeña y mediana escala, y se sugiere para futuras investigaciones evaluar la interacción de estos filtros con la carga de cultivo y la tasa de recambio de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cissé, M., Konaté, Y., & Savadogo, B. (2024). Performance evaluation of biofiltration systems using local substrates in recirculating aquaculture. *Aquacultural Engineering*, *104*, 102389.

Díaz, E., & Mendoza, R. (2024). Evaluación de biofiltros con sustratos regionales para sistemas acuícolas de recirculación en México. *Revista Mexicana de Ingeniería Acuícola*, *8*(2), 45-58.

Hassan, M. A., Rahman, M. S., & Alam, M. J. (2024). Multifactorial evaluation of combined mechanical and biological filtration on water quality parameters in tilapia RAS. *Aquaculture Research*, *55*(3), 892-906.

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentable (IMIPAS). (2025). *Diagnóstico de la Acuacultura rural en México (2022-2024)*. Gobierno de México.

Martínez García, J., García Muñoz, P., & Rodríguez Chueca, J. J. (2024). Acuicultura y sistemas RAS: un estudio bibliográfico de técnicas y tratamientos.

Peña Ruiz, L. A., & Sánchez De La Peña, W. A. (2021). *Estudio de factibilidad para implementar sistemas de recirculación acuícola (RAS) aplicado a la tilapia roja en los departamentos del Tolima y Huila, disminuyendo los impactos ambientales en fuentes hídricas producidos por la piscicultura convencional* [Tesis de doctorado, Corporación Universitaria Minuto de Dios].

Rivera Cortez, B., Reyes Fuentes, M., Loyola Gutiérrez, M. C., & Yáñez López, R. (2025). Tecnología intermedia para la producción de tilapia. Tecnológico Nacional de México-Roque.

Rivera, A. G. (2025). Diseño de un sistema de recirculación y filtración de agua de criadero. *Revista Tecnológica CEA*, *10*(31), 487–496.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021*. Diario Oficial de la Federación (DOF).

Sharma, P., Kumar, S., & Patel, V. (2023). Volcanic rock as biofilter media in recirculating aquaculture systems: a comparative review. *Reviews in Aquaculture*, *15*(2), 651-670.

Singh, R. K., Varma, A., & Tiwari, S. (2022). Multi-layer filtration systems for aquaculture wastewater treatment: efficiency and design considerations. *Journal of Water Process Engineering*, *47*, 102789.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE DIFERENTES TRATAMIENTOS DE AGUA DE TILAPIA EN RESPUESTA DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE BROCOLI (*Brassica oleracea* Plenck)

Javier Jiménez Avalos[1]; Juana María Mejia Rivera[1]; Remedios Betsabe Ruiz Ramirez[1]; Marbella Romero Figueroa[1]; Jesús David Joaquin Cuarenta[1]; Berenice Rivera Cortez[1]; José Gómez Espinoza[1]*

[1]TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. Autor de correspondencia: gomez2205jge@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de diferentes porcentajes de efluente acuícola proveniente del cultivo de tilapia (*Oreochromis Niloticus*) sobre el crecimiento y desarrollo de brócoli (*Brassica oleracea).* La investigación se llevó a cabo en la Unidad de Producción Acuícola del Tecnológico Nacional de México Campus Roque, el objetivo de aprovechar el efluente acuícola generada en los estanques de tilapia, la cual es rica en nutrientes debido a que actualmente representa un problema al no ser aprovechada. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, evaluando distintas mezclas de agua natural y agua de tilapia: 100 % agua natural (T1), 75/25 (T2), 50/50(T3), 25/75 (T4) y 100 % agua de tilapia(T5). Las variables analizadas fueron diámetro de tallo, número de hojas y altura de planta, registradas a los 20, 60 y 80 días después del trasplante. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre fechas de evaluación para todas las variables. El tratamiento con mejores resultados fue el T3, presentando mayores valores en diámetro de tallo, número de hojas y altura de planta. Esto indica que el uso moderado del agua residual acuícola favorece el desarrollo del cultivo debido a su aporte nutrimental. Además, los coeficientes de variación obtenidos fueron aceptables, lo que demuestra confiabilidad en los resultados experimentales. El estudio evidencia que el aprovechamiento del agua de tilapia puede representar una alternativa sustentable y eficiente para la producción agrícola, contribuyendo tanto al ahorro de agua como a la reducción del impacto ambiental.

Palabras clave: *brócoli, efluente acuícola, tilapia, agua*

ABSTRACT

This study evaluated the effect of different percentages of aquaculture effluent from tilapia (Oreochromis niloticus) farming on the growth and development of broccoli (Brassica oleracea). The research was conducted at the Aquaculture Production Unit of the National Technological Institute of Mexico, Roque Campus. The objective was to utilize the nutrient-rich aquaculture effluent generated in the tilapia ponds, which currently represents a problem due to its underutilization. A completely randomized design with five treatments and three

replicates was used, evaluating different mixtures of natural water and tilapia water: 100% natural water (T1), 75/25 (T2), 50/50 (T3), 25/75 (T4), and 100% tilapia water (T5). The variables analyzed were stem diameter, number of leaves, and plant height, recorded 20, 60, and 80 days after transplanting. The results showed highly significant differences between evaluation dates for all variables. Treatment T3 performed best, exhibiting higher values for stem diameter, number of leaves, and plant height. This indicates that the moderate use of aquaculture wastewater promotes crop development due to its nutritional contribution. Furthermore, the coefficients of variation obtained were acceptable, demonstrating the reliability of the experimental results. This study shows that the use of tilapia wastewater can represent a sustainable and efficient alternative for agricultural production, contributing to both water conservation and a reduction in environmental impact.

Keywords: *broccoli, aquaculture effluent, tilapia, water*

INTRODUCCION

El brócoli, es una planta de la familia de las crucíferas. De este, se consumen los floretes compactos de un color verde intenso que crecen sobre un tallo, es considerada un alimento con gran aporte nutrimental.) ya que es una de las verduras con más valor nutricional, tiene un alto contenido en fibra (*Challenge Validation*, s. f.). Por todo esto, tiene beneficios antioxidantes, depurativos lo cual, fortalece las defensas en el cuerpo humano. El brócoli es un alimento altamente nutritivo, rico en vitaminas C, K y A, fibra, hierro y potasio, destaca por sus propiedades anticancerígenas gracias al sulforano (con un porcentaje de entre \(44\) y \(171\) mg por cada \(100\) g) que ayuda a reducir la inflamación, mejorar la salud cardiovascular al disminuir el colesterol LDL y fortalecer el sistema inmunológico, una porción de 100 gramos de brócoli proporcionará más de 150 % de la ingesta diaria recomendada de vitamina C (SENACICA , 2016). La producción de brócoli a nivel mundial supera los 25 millones de toneladas anuales, siendo China e India los principales productores con el 74% de la producción mundial. México destaca como el 4° productor mundial con 640,686.39t (*Qué Te Gustaría Saber | FAO | Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura*, s. f.) destacando Guanajuato como líder principal con el 65.2% con 422,223.05 Ton (SIAP, 2024). El brócoli requiere una nutrición intensa y equilibrada, destacando una alta demanda de Nitrógeno (N) para el crecimiento foliar (3 kg/ha/día al inicio) y Potasio (K) (2.7–5.1 kg/t) para la formación del florete y este mismo sea de excelente calidad. Es vital asegurar Fósforo (P) para raíces, Calcio (Ca) para estructura y micronutrientes como Boro (B), («Rico En Diversos Nutrientes, el Brócoli Es un Alimento Más Importante Para la Alimentación Diaria de Lo Que Imaginas. Descubre Todos Sus Beneficios.», 2024), entre otros. La Tilapia del Nilo (*Oreochromis Niloticus*) pertenece a la familia Cichlidae. Es una especie de alto rendimiento, altos niveles de proteína y muy buen sabor, tiene un cuerpo con el dorso grisáceo, rosado a los lados, con barras verticales oscuras en la aleta caudal. Presenta dimorfismo sexual, la hembra es más pequeña que el macho (aleta caudal en punta) y en época reproductiva

el color de las aletas se torna rojizo. La longitud, peso y edad máxima respectivamente reportadas son 60 cm largo estándar, 4.3 kg y nueve años. Es omnívoro, incluyendo fitoplancton, perifiton, plantas acuáticas, pequeños invertebrados, fauna bentónica y detritus en su dieta. Por lo cual, fue seleccionada para su desarrollo y estudio dentro del Instituto Tecnológico De Roque, sin embargo, se tiene un problema con la recirculación del agua de esta misma, por lo cual, implementaron el uso filtros donde se logró observar que los niveles de nitritos, nitratos, amonio, pH entre otros, disminuían sus valores los cuales, eran óptimos para el cultivo de la tilapia. Hoy en día, el uso del agua de tilapia que se usa en el instituto tecnológico de roque, sin embargo, no tiene uso alguno, por lo cual con este proyecto le damos recirculamiento a esta agua volviéndola a hacer útil aprovechando sus altos niveles de nutrientes, por lo tanto el agua de tilapia es un excelente fertilizante orgánico rico en nitrógeno (en forma de amoníaco y nitratos), fósforo, calcio, potasio y magnesio, al desaprovecharse el efluente acuícola de los estanques, se pierden 2 800 L cada tercer día con altas concentraciones de residuos nitrogenados (amoniaco, nitritos y nitratos lo cual es un problema dentro de la unidad pues estos solo son arrojados a una zanja en donde se evaporan o se filtran al subsuelo, algo alarmante para el ambiente; una solución propuesta fue la de aprovechar esa agua de los estanques como fuente de fertilizante orgánico para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*), por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes tratamientos del efluente acuícola en respuesta de crecimiento y desarrollo de Brócoli (*Bracica oleracea*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trasplante se realizó en condiciones de riego en la Unidad de Producción Acuícola (UPA) del Tecnológico Nacional de Mexico en Roque (TECNM-ROQUE), ubicado en la carretera, Juventino Rosas-Celaya, Guanajuato, México, localizado a 20° de latitud norte.

El diseño experimental constó de un arreglo completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en hacer las combinaciones de las dos aguas de pozo y efluente acuícola, los cuales se muestran a continuación en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de los tratamientos evaluados en brócoli (*Brassica oleracea*).

Número	Abreviación	Descripción del tratamiento
1	Trat 1	100% Agua natural
2	Trat 2	75% agua natural + 25% efluente acuícola
3	Trat 3	50% agua natural + 50% efluente acuícola
4	Trat 4	25% agua natural + 75% efluente acuícola
5	Trat 5	100% efluente acuícola

Se registraron las variables de altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Numero de hojas (NH), los cuales se evaluaron en tres fechas distintas que fueron a los 20 días de trasplante (DDT),60 días y 80 días. Se evaluaron en tres fechas distintas en las cuales nos dimos cuenta de que tuvimos diferencias significativas

Se realizó análisis de varianza para observar el efecto de los tratamientos y fechas de las interacciones entre los factores estudiados. Se realizaron pruebas de medias (DMS P α 0.05) para detectar diferencias entre niveles de los factores de variación. Los datos se analizaron estadísticamente con el programa SAS 9.4 (SAS Instituto, 2022). Con la finalidad de identificar las variables más importantes y la dispersión de los tratamientos evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza se presenta en el Cuadro 2. Donde se observa, que la fuente de variación de fecha, donde se presentó diferencia significativa en las cuales con un (P ≤ 0.01). En tratamientos no existe diferencia significativa, en la interacción fecha x tratamiento, igual que en caso de tratamientos no existe diferencia significativa. Si bien, se analizó la variable número de hojas donde se observó cuenta que en todos los resultados obtenidos de fuente de variación muestran diferencia significativa de (P ≤ 0.01), esto gracias a los diferentes porcentajes de nutrientes que pudiera presentar en el agua. Cabe resaltar que el coeficiente de variación está en 9.79 lo cual, es bastante aceptable puesto que algunos autores mencionan que para ser aceptable debe de ser menor de 20. Por otro lado, en la altura de planta la variable de fecha dio una diferencia significativa de (P ≤ 0.01) al igual los tratamientos mostraron diferencia significativa (P ≤ 0.05), lo mismo sucede en la interacción fecha x tratamiento donde se muestra diferencias significativas, demostrando que el mayor efecto se observó en fechas puesto que el valor de la fuente de variación fue el de mayor impacto, donde para esta variable el coeficiente de variación fue de 8.89.

Cuadro 2. Cuadrados medios del ANAVA de diámetro de tallo, número de hojas y altura de planta en brócoli.

F V	DTBR (mm)	NHBR	APBR (cm)
Fecha (Fech)	2620.293287**	934.255127**	6466.62482**
Tratamientos (Trat)	12.126281	11.467048**	44.66232*
Fech*Trat	5.896189	10.430054**	46.53889*
Error	3.741889	0.851660	8.09608
C.V. (%)	16.6	9.7	8.8

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación.

En las pruebas medias (cuadro 2), para diámetro de tallo se determina que existe diferencia significativa entre las fechas evaluadas, destacando la fecha numero 5 donde los valores obtenidos oscilan entre 26.60 mm mostrando diferencias significativas con las otras fechas lo cual era de esperarse puesto el crecimiento de la planta es exponencial, sin embargo, el crecimiento que muestra la fecha 3 y la fecha 5 es cuatro veces mayor que en la fecha tres, lo cual puede atribuirse a que existe mayor asimilación de nutrientes del agua de tilapia.

Cuadro 3. Valores promedios (DMS α 0.05) de diámetro de tallo, número de hojas y altura de planta en brócoli.

FV	DTBR (mm)		NHBR		APBR (cm)	
Fecha						
5	26.70	a	17.89	a	54.16	a
3	6.29	b	8.09	b	28.86	b
1	1.95	c	2.27	c	12.93	c

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

En el siguiente cuadro se muestran las variables obtenidas donde nos damos cuenta de que el tratamiento 3 es el que dio mejor resultado, tanto en diámetro de tallo, numero de hojas y altura de planta con esto nos damos cuenta de que da mejor respuesta aplicar el tratamiento al 50%, lo cual es un muy buen resultado ya que podemos mantener una muy buena mezcla y tener un mayor ahorro del agua de tilapia.

Cuadro 4. Valores promedios (DMS α 0.05) de diámetro de tallo, número de hojas y altura de planta en brócoli.

FV	DTBR (mm)		NHBR		APBR (cm)	
Tratamiento						
3	12.78	a	10.22	a	34.26	a
2	12.61	a	8.50	b	32.46	ab
1	11.49	a	8.18	b	28.27	b
5	11.48	a	10.86	a	32.29	ab
4	9.88	a	8.18	ab	32.73	ab

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

CONCLUSIONES

El uso de agua residual proveniente del cultivo de tilapia tuvo efectos positivos en el crecimiento y desarrollo del brócoli, principalmente cuando se utilizó una mezcla equilibrada de 50 % agua natural y 50 % agua de pez. Este tratamiento permitió obtener mejores resultados en diámetro de tallo, número de hojas y altura de planta, demostrando que el agua acuícola puede funcionar como una fuente importante de nutrientes para el cultivo. Asimismo, el aprovechamiento de esta agua representa una alternativa sustentable. Por lo tanto, el uso del efluente acuícola en sistemas agrícolas puede considerarse una práctica viable para mejorar la producción de brócoli y promover un manejo más eficiente y ecológico de los recursos disponibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFÍCAS

Challenge validation. (s. f.). https://www.gob.mx/agricultura/articulos/brocoli-el-superalimento-de-rapido-crecimiento?idiom=es

Qué te gustaría saber | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). AboutFAO. https://www.fao.org/about/ask-fao/es/

Rico en diversos nutrientes, el brócoli es un alimento más importante para la alimentación diaria de lo que imaginas. Descubre todos sus beneficios. (2024, 16 septiembre). *National Geographic*. https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2024/09/los-5-beneficios-del-brocoli-para-el-organismo

Challenge validation. (s. f.-b). https://www.gob.mx/senasica/articulos/brocoli-un-aliado-para-tu-salud

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE EFLUENTE ACUÍCOLA COMO FUENTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* Plenck) Y COLIFLOR *(Brassica oleracea var. brotitis*)

Remedios Betsabé Ruiz Ramírez[1]; José Gómez Espinoza[1]; Arturo Guadalupe Vera Rivera[1]; Alier Miguel Muñoz Arias[1]; Jesús David Joaquín Cuarenta[1]; Berenice Rivera Cortéz[1*]

Tecnológico Nacional de México Campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

RESUMEN

Dentro del Instituto Tecnológico de Roque se encuentra una unidad de producción acuícola donde se producen tilapias (*Oreochromis Niloticus*), del cual cada tercer día se hacen recambios, esto genera la perdida de agua cargada de nitrógeno, esto no resulta favorable para la unidad acuícola; la solución propuesta fue la de aprovechar esa agua como fuente de fertilización para cultivos; para ello se estableció un proyecto experimental, donde, el objetivo fue evaluar el uso de efluente acuícola como fertilizante en el cultivo de brócoli y coliflor. El experimento constó de un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones, se evaluaron distintas mezclas de agua de pozo y del efluente acuícola (EA), los cuales fueron: 100% pozo (T1), 75% pozo con 25% (EA)(T2), 50% pozo con 50% (EA) (T3), 75% (EA) con 25% pozo (T4) y 100% (EA)(T5). Las variables analizadas fueron: Diámetro de tallo (DT), longitud de tallo (LT) y altura de planta (AP), con registro de 5 fechas en total: Día 0, 20, 40, 60 y 80. En las fechas evaluadas los resultados arrojaron diferencias significativas entre fechas de evaluación para las 3 variables, El tratamiento con mejores resultados fue el número 3, el cual presentó valores altos en DT, AP y LT, indicándonos que el uso del efluente acuícola resulta una alternativa favorable en los cultivos debido a su alto aporte nutrimental. Además de que los coeficientes de variación fueron totalmente aceptables, lo que demuestra alta confiabilidad en los resultados experimentales obtenidos.

Palabras clave: *Efluente acuícola, ambiente, tilapia, brócoli, coliflor.*

ABSTRAC

Within the Roque Technological Institute is an aquaculture production unit where tilapia (Oreochromis niloticus) are raised. The water is changed every three days, resulting in the loss of nitrogen-rich water, which is detrimental to the aquaculture unit. The proposed solution was to utilize this water as a fertilizer for crops. To this end, an experimental project was established to evaluate the use of aquaculture effluent as fertilizer for broccoli and cauliflower cultivation. The experiment consisted of a completely randomized block design with 5 treatments and 3 replicates. Different mixtures of well water and aquaculture effluent (AE) were evaluated: 100%

well water (T1), 75% well water with 25% AE (T2), 50% well water with 50% AE (T3), 75% AE with 25% well water (T4), and 100% AE (T5). The variables analyzed were: stem diameter (SD), stem length (SL), and plant height (PH), with data recorded on a total of five dates: Day 0, 20, 40, 60, and 80. The results showed significant differences between evaluation dates for all three variables. Treatment 3 yielded the best results, presenting high values for SD, PH, and SL, indicating that the use of aquaculture effluent is a favorable alternative for cultivation due to its high nutrient content. Furthermore, the coefficients of variation were entirely acceptable, demonstrating high reliability in the experimental results obtained.

Keywords: *Aquaculture effluent, environment, tilapia, broccoli, cauliflower*

INTRODUCCIÓN

El brócoli y la coliflor pertenecen a la familia de las crucíferas, son originarias del Mediterráneo Oriental de las regiones del Líbano, Asia Menor, Siria, La Península de Anatolia, etc. Fueron introducidos a México a mediados del siglo XX. La producción de brócoli en México hasta el año 2024 fue de 640,685 toneladas, de las cuales Guanajuato se posiciona como líder productor de brócoli y coliflor con una producción de 422,223 toneladas y 95,941 toneladas respectivamente, colocando a Guanajuato como líder nuevamente con 24,319 toneladas producidas. (SIAP 2024). El brócoli tiene valiosas propiedades nutricionales, ya que es uno de los alimentos con más vitamina C, y también, es rico en carotenos, vitamina A, selenio, potasio, calcio vegetal, fibra, vitaminas del complejo B y proteínas vegetales. Es un alimento con un valor nutrimental bastante alto, también es un potente antioxidante que nos va a ayudar a combatir la oxidación natural que sufre el organismo a causa de la edad, estrés, dormir poco, alimentación inadecuada, fumar, consumo de alcohol. Beneficia a nuestra visión, previniendo la aparición de cataratas, disminuye el riesgo de padecer degeneración ocular, mejora la adaptación a los cambios de luz y otros problemas oculares, gracias a su elevado contenido en Vitamina B12 y Luteína. Tiene un elevado contenido en fibra y es un alimento bajo en calorías, muy recomendado en personas diabéticas, además ayuda a prevenir el daño que sufren los vasos sanguíneos a causa de la diabetes. Hay que tener especial cuidado en el caso de personas que tengan problemas de tiroides, ya que su consumo en exceso puede ser perjudicial al bloquear la absorción de yodo. (*Challenge Validation*, s. f.). En el caso de la coliflor tenemos que es altamente nutritivo, bajo en calorías y rico en fibra, vitamina C, vitamina K y antioxidantes. Ayuda a mejorar la salud digestiva, fortalecer el sistema inmunológico, combatir la inflamación y favorecer la pérdida de peso gracias a su efecto saciante. Dentro de sus beneficios nutrimentales la coliflor es rica en Vitaminas y Minerales contiene vitamina C, K, B6 y complejo B (tiamina, riboflavina, niacina). Es fuente de minerales como potasio, magnesio y fósforo. Su contenido de fibra ayuda a mejorar el tránsito intestinal, prevenir el estreñimiento y generar sensación de saciedad. Aporta glucosinolatos e isotiocianatos, que ayudan a la regeneración celular, además del compuesto indol-3-carbinol (I3C), que reduce las reacciones inflamatorias.

Bajo en Calorías. Es ideal para dietas de control de peso y apta para personas con diabetes por su bajo índice glucémico. Salud Cardiovascular: Ayuda a la regulación de la presión arterial y aporta nutrientes que protegen contra enfermedades cardíacas. Valor Nutricional por 100g (Aproximado): Calorías: Muy bajas (aprox. 25 kcal). Fibra: Aporta un 10% de las necesidades diarias. Vitamina C: Cubre una gran parte de la ingesta recomendada, fundamental para la absorción de hierro. (Unilever food solutions, s.f.)

La tilapia *(Oreochromis niloticus)* es una especie que tiene gran importancia dentro de la acuicultura por ser una excelente producción de proteína animal en aguas tropicales y subtropicales dentro de todo el mundo, particularmente en los países en desarrollo ya que su cultivo, es uno de los más difundidos, la rentabilidad puede ser alta o baja según el sistema de producción que se emplee. (CONAPESCA, 2017).es perteneciente al reino animalia, del filo chordata, orden Actinopterygii, familia Cichlidae, género Oreochromis y de la especie Oreochromis niloticus. (Alcantar, 2014) Actualmente México se encuentra en el noveno lugar de producción de tilapia a nivel mundial, lo que representa para México el 94.3% de la pesquería nacional de la especie. Las principales entidades productoras del país son Jalisco, Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Tabasco e Hidalgo. (SIAP, 2025). El agua de efluente acuícola aporta gran cantidad de nutrientes como altos porcentajes de Ca, Na, K y N; con un pH de 7.7, los cuales son esenciales para la agricultura y el suelo. Por lo tanto, el uso de esta agua permitirá regar y fertilizar sin inconvenientes gran parte de los cultivos. (CONAPESCA, 2021). Dentro del Instituto Tecnológico de Roque se encuentra un sistema intensivo de producción de tilapia que cuenta con 6 estanques de geomembrana, cuya fuente de agua proviene del pozo institucional. La nutrición y cuidado de los peces, además del monitoreo de los parámetros climáticos y de la calidad del agua de los estanques son las actividades esenciales que se deben llevar a cabo para lograr tener un buen funcionamiento del sistema. Al hacer recambio cada tercer día se pierden cientos de litros de agua con un alto contenido de residuos nitrogenados, lo cual es un problema dentro de la unidad, pues no es aprovechado, por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue usar el agua de efluente acuícola como fuente de nutrientes para el cultivo de brócoli y coliflor para así poder determinar si es viable el

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó dentro del área acuícola ubicada dentro del Tecnológico Nacional de México, Campus Roque (TecNM Roque), ubicado en el kilómetro 8, carretera Juventino Rosas-Celaya, dentro del estado de Guanajuato México, 20.5791° N, -100.8285° O.

Se empleó un diseño experimental que constó de un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos empleados y 3 repeticiones, del cual se evaluaron tres variables: Altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Longitud de tallo (LT) en ambos cultivos.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el desarrollo de coliflor y brócoli.

Abreviación	Descripción del tratamiento
Trat. 1	100% agua de pozo
Trat. 2	75% agua de pozo, 25% agua de efluente acuícola.
Trat. 3	50% agua de pozo, 50% agua de efluente acuícola.
Trat. 4	25% agua de pozo, 75% agua de efluente acuícola.
Trat. 5	100% agua de efluente acuícola.

Para el experimento se registraron 3 variables, las cuales fueron Altura de planta (AP), Longitud de tallo (LT) y Diámetro de tallo (DT), las cuales fueron evaluadas en 5 fechas diferentes que fueron: Día 0 o día de trasplante, día 20, día 40 y día 80 después de trasplante, en cada toma de datos nos percatamos que tuvimos diferencias significativas en ambos cultivos.

Se realizó análisis de varianza para observar el efecto de los tratamientos, fechas, cultivos y de las interacciones entre los factores estudiados. Se realizaron pruebas de medias (DMS $P \leq 0.05$) para detectar diferencias entre niveles de los factores de variación. Los datos se analizaron estadísticamente con el programa SAS 9.4 (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros evaluados se encuentran dentro del cuadro 2, en el cual se puede observar que se obtuvo una diferencia significativa en las cuales obtuvimos un (DMS $P \leq 0.01$). Dentro del apartado de tratamientos podemos observar que no tenemos una diferencia significativa, dentro de la interacción Fecha x tratamiento nuevamente no encontramos una diferencia significativa

Para la variable en el cultivo de brócoli se muestra una diferencia significativa entre las fechas evaluadas, destacando la fecha numero 5 donde los valores obtenidos oscilan entre 26.70 mm mostrando diferencias significativas con las otras fechas lo cual era muy predecible ya que el crecimiento de las plantas fue exponencial, sin embargo, el crecimiento que muestra la fecha 3 y la fecha 5 es cuatro veces mayor que en la fecha tres, lo cual puede atribuirse a que existe mayor asimilación de nutrientes del agua de efluente acuícola. Para Lt se muestra una diferencia significativa entre nuestras fechas evaluadas, de las cuales se observa que la fecha número 5 en la cual nuestros valores obtenidos oscilan hasta los 7.5 centímetros, mostrando una diferencia muy notable con respecto a nuestras otras fechas de evaluación, de las cuales en nuestras 3 primeras fechas no tuvieron una diferencia significativa, hasta la fecha 4 en la cual el valor obtenido ronda los 5.6 centímetros , era un resultado predecible ya que el crecimiento de la planta fue totalmente exponencial, el crecimiento de que muestra la fecha 1 y la fecha 5 es 3 veces mayor, lo cual se puede atribuir a que la planta asimiló de mejor manera los nutrientes que se obtienen del agua de efluente acuícola. Para AP se puede observar que dentro de las primeras 2 fechas de evaluación no se obtuvo alguna diferencia significativa, si no hasta nuestra fecha 3 en la cual nuestro valor obtenido oscila hasta los 28.86 centímetros, para nuestra fecha

4 nuevamente obtuvimos diferencia significativa en la cual nuestro valor osciló a 48.24 centímetros y finalmente para nuestra fecha numero 5 obtuvimos la mayor diferencia con un valor que oscila hasta los 54.16, un valor 4 veces más alto con respecto a nuestra fecha 1. Todos nuestros coeficientes de variación nos dieron valores menores a 20,

En DT el cultivo de coliflor se muestra diferencia significativa entre las fechas evaluadas, destacando la fecha numero 5 donde los valores obtenidos oscilan entre 21.45 mm mostrando diferencias significativas con las otras fechas lo cual era muy predecible ya que el crecimiento de las plantas fue exponencial, resultado totalmente predecible ya que la planta aprovecho de mejor manera los nutrientes que el agua de efluente acuícola aporta. Por otro lado, LT se muestra diferencia significativa entre las fechas evaluadas de las cuales destaca nuestra fecha número 5 en la que es valor oscila los 4.88 centímetros, mostrando diferencia respecto, respecto a las demás fechas de evaluación. Si bien, para AP se observaron diferencias significativas dentro de las 5 fechas de evaluación, comenzando con 9.83 centímetros en la fecha 1 y terminando con 52.74 centímetros en nuestra fecha 5.

Cuadro 2. Cuadrados medios del ANAVA de diámetro y longitud de tallo, de planta en brócoli.

FV	DTBR	LTBR	APBR	DTCO	LTCO	APCO
Fecha (Fech)	1751.623579**	67.6788113**	5578.83792**	857.130749**	26.1768667**	4553.84220**
Tratamientos Trat	13.978662*	0.9968713	117.97283**	2.191195	0.1645900	15.85326
Fech*Trat	4.415534	2.7449397**	41.12559	3.860284	0.5338692**	21.58429
Error	3.303331	0.3731867	12.50984	1.863480	0.1146107	9.88105
C.V. (%)	16.1	13.8	11.2	11.9	12.7	10.4

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad

Cuadro 3. Valores promedios (DMS α 0.05) para fechas de diámetro, longitud y altura de tallo en planta en brócoli (*Brassica oleracea)* y coliflor *(Brassica oleracea var. Botrytis*).

FV	DTBR		LTBR		APBR		DTCO		LTCO		APCO	
Fecha												
5	26.70	a	7.5	a	54.16	a	21.45	a	4.88	a	52.74	a
4	18.30	b	5.06	b	48.24	b	13.98	b	2.31	b	41.42	b
3	6.29	c	3.39	c	28.86	c	13.88	b	2.31	b	28.86	c
2	3.03	d	3.06	c	12.99	d	5.55	c	1.34	c	17.40	d
1	1.95	d	2.66	c	12.93	d	2.43	d	2.43	b	9.83	e

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

En el cuadro 4 se muestran los resultados del cual destaca el tratamiento número 3, se puede observar cómo en nuestras 3 variables de ambos cultivos se tuvo un mayor resultado tanto en diámetro de tallo como en longitud de tallo y altura de planta. De esta manera podemos decir que al aplicar 50% agua de efluente hídrico y 50% agua de pozo se obtienen buenos resultados, ya que la carga nitrogenada que contiene el agua de

efluente hídrico nos aporta los nutrientes necesarios para que nuestro cultivo se desarrolle de la mejor manera, sin dejar de lado que se obtiene un ahorro significativo tanto en agua de pozo como de recurso monetario al ahorrarnos el uso de fertilizantes y químicos.

Cuadro 4. Valores promedios (DMS α 0.05) para tratamientos de diámetro de tallo, longitud de tallo y altura de planta en brócoli (*Brassica oleracea)* y coliflor *(Brassica oleracea var. Botrytis*).

Tratamiento	DTBR		LTBR		APBR		DTCO		LTCO		APCO	
3	12.32	a	4.39	a	34.48	a	11.20	a	2.55	a	30.20	a
2	11.89	ab	4.68	a	31.11	ab	11.79	a	2.68	a	31.21	a
5	11.35	ab	4.08	a	32.78	a	11.87	a	2.83	a	28.63	a
1	10.90	ab	4.22	a	26.95	b	11.47	a	2.61	a	30.09	a
4	9.82	b	4.62	a	31.84	a	10.97	a	2.61	a	29.81	a

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

CONCLUSIONES

El uso de efluente hídrico dentro de cultivos de campo resulta una opción altamente eficiente, ya que obtenemos mejores resultados en el crecimiento y desarrollo de ambas crucíferas empleadas destacando la aplicación de un riego con una mezcla equilibrada de 50% de agua de pozo y 50% de agua del efluente hídrico de criadero de tilapia, dicho tratamiento proporcionó los resultados más destacables con crecimiento significativos de AT, DT, se puede emplear como fuente importante de nutrientes para el cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta-Zamora, D., Macías-Carranza, V., Mendoza-Espinosa, L., & Cabello-Pasini, A. (2013). Efecto de las aguas residuales tratadas.

Quirónsalud. (2020, mayo 24). El brócoli. Quirónsalud.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s. f.). Brócoli, un alimento de gran valor. Gobierno de México.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). Qué te gustaría saber. FAO.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018, febrero 22). Coliflor, una deliciosa hortaliza de temporada. Gobierno de México.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019, agosto 21). Acuaponia: una alternativa sustentable para producir plantas y peces. Gobierno de México.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LAVANDA BAJO NUTRICIÓN ORGÁNICA (*Lavandula angustifolia)*

Carlos Manuel Uvalle Muñiz[1]; María Paula Morales Santarosa[1]; Josefina Jiménez Muñoz Ledo[2]; Jorge Abraham Rodríguez Sandoval[2]

[1]Estudiante de Innovación Agrícola Sustentable TecNM-Roque, [1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-Roque, [2]Docentes TecNM-Roque. Autor de correspondencia: josefinaclara1800@gmail.com

RESUMEN

La lavanda pertenece al género Lavandula, dentro de la familia Lamiáceae, y es una planta aromática perenne ampliamente cultivada por su valor medicinal, ornamental e industrial. Sus flores contienen aceites esenciales ricos en compuestos como linalool y acetato de linalilo, utilizados en la elaboración de perfumes, cosméticos y productos terapéuticos. El trabajo de investigación se desarrolló en el TecNM-Roque, en el área experimental de las camas intensivas, una vez realizado el trasplante de las plantas de lavanda, se aplicaron los diferentes bio fertilizantes orgánicos: micorrizas, lixiviado, composta, además de un testigo para la comparación de las mismas. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (v 9.1) en versión para Windows, llevándose a cabo un ANAVA y la prueba de comparación de medias (Duncan α 0.05). Los resultados del ANAVA arrojó diferencias significativas entre tratamientos, se determinó que las plantas con tratamientos con la aplicación de Lixiviado fue el tratamiento con mejores resultados, en lo que fue la altura de la planta a los 60 días después de su trasplante.

Palabras clave: *lavanda, lavándula angustifolia, tratamiento, cimiento.*

ABSTRACT

Lavender belongs to the genus Lavandula, within the Lamiáceae family, and is a perennial aromatic plant widely cultivated for its medicinal, ornamental and industrial value. Its flowers contain essential oils rich in compounds such as linalool and linalyl acetate, used in the manufacture of perfumes, cosmetics and therapeutic products. The research work was carried out in the TecNM-Roque, in the experimental area of the intensive beds, once the transplant of the plants of the band was carried out, the different organic bio fertilizers were applied: mycorrhizaes, leachate, compost, in addition to a witness for the comparison of them. The data were analyzed with the SAS statistical package (v 9.1) in version for Windows, carrying out an ANAVA and the comparison test of averages (Duncan α 0.05). The results of ANAVA showed significant differences between treatments, it was determined that plants with treatments with the application of Leachate were the treatment with the best results, in what was the height of the plant 60 days after its transplantation.

Keywords: *lavender, Lavandula angustifolia, treatment, foundation.*

INTRODUCCIÓN

La lavanda es un cultivo perenne que puede mantenerse en explotación entre 8 y 15 años, dependiendo del manejo agronómico. Su establecimiento requiere suelos bien drenados, preferentemente de textura ligera a media, con pH ligeramente alcalino, y climas templados con buena radiación solar. Una de sus principales ventajas es su tolerancia a condiciones de sequía, lo que reduce los costos de riego y la hace adecuada para regiones con limitada disponibilidad de agua. La producción se enfoca principalmente en la obtención de flores y aceites esenciales. El rendimiento depende de factores como la variedad genética, la densidad de plantación, el manejo nutrimental y las prácticas de poda. En promedio, los rendimientos pueden variar entre 2 a 6 toneladas de biomasa fresca por hectárea, con contenidos de aceite esencial que oscilan entre 1% y 3%, dependiendo de la especie, destacando Lavandula angustifolia por su alta calidad aromática y Lavandula intermedia por su mayor rendimiento.

El proceso productivo incluye etapas clave como establecimiento del cultivo, manejo agronómico (fertilización, control de malezas y poda), cosecha en el momento óptimo de floración y extracción del aceite esencial mediante destilación por arrastre de vapor. Este último proceso es determinante para la calidad del producto final, ya que influye en la concentración y composición de los compuestos volátiles. Desde la perspectiva de la genética y el mejoramiento vegetal, la producción de lavanda se ha orientado a la selección de genotipos con mayor rendimiento de biomasa, mayor concentración de aceite esencial y resistencia a estrés abiótico. La variabilidad genética existente en especies como Lavandula latifolia y sus híbridos permite desarrollar cultivares adaptados a diferentes condiciones agroecológicas, optimizando así la productividad y calidad del cultivo.

En conjunto, la producción de lavanda representa una alternativa agrícola rentable, con alto valor agregado y potencial para integrarse en sistemas de producción sostenibles, especialmente en zonas semiáridas donde otros cultivos presentan limitaciones. El objetivo de este trabajo es comparar los parámetros de crecimiento del apio bajo diferentes tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizo en las camas biointensivas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, el cual se ubica en el km. 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, las coordenadas geográficas son: 20°34’ 59.12” Latitud Norte y 100° 49” 41.16” Longitud Oeste, con una Altitud de 1765 msnm. En la región de Celaya, el clima predominante es semicálido, subhúmedo con una temperatura media que oscila de 14° a 22°; una precipitación pluvial que varía de 600 a 1000 mm anuales. Los suelos en la región son

el vertisol péllico y vertisol crómico, predominando los primeros, siendo éstos de estructura arcillosa, planos, de reacción ligeramente alcalina, fértiles y aptos para una gran variedad de cultivos.

Para el establecimiento del experimento se realizó el deshierbe manual, se removió el suelo en dos capas sucesivas y se realizó la formación del surco con separación de un metro, donde posteriormente se realizaría el establecimiento de las plantas a una distancia de 50 cm. La instalación del sistema de riego fue mediante un sistema por goteo, realizando el suministro de agua dos veces por semana, con un gasto aproximado 4-6 L en forma diaria por cada planta. La aplicación de los abonos orgánicos se realizó en el momento del trasplante

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y empleando 5 plantas por tratamiento, donde se seleccionaron las mismas cinco plantas para la toma de datos, los tratamientos evaluados fueron: 1) testigo, 2) micorrizas+composta (4kg^{-1} por m^2), 3) lixiviado (250ml^{-1} por litro) y 4) algas (0.50g^{-1} por litro). Las variables evaluadas fueron: a) altura de planta, b) número de ramas nuevas, c) número de flores. Las variables evaluadas fueron evaluados a los 60 días de iniciado el ensayo. Los datos muestreados se analizaron mediante el paquete estadísticos SAS (v 9.1) de la versión para Windows y los tratamientos se les aplicó una prueba de comparación de medidas de Duncan (α 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de varianza (ANAVA), se observa que al utilizar abonos orgánicos en plantas de lavanda, muestra que existe una diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01) no solo en altura de planta, sino también en número de flores. En cuanto estudios sobre el uso de fertilización química, algunos autores afirman que provocan problemas de contaminación y disminución en la calidad del aceite esencial que se obtiene de esta planta. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables de crecimiento en Lavanda por el empleo de abonos orgánicos.

FV	gl	AltPl60	NoRa60	NoFlo60
Trat	3	87.78**	3.29*	27.100**
Error	18	12.038	0.95	1.677
Total	21	1290.594	31.5	170.3
CV (%)		7.2	18.5	12.6

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad, AltPl60 = Altura de planta a los 60 ddt (cm), NoRa60 = número de ramas a los 60 ddt (µ), NoFlo60 = número de flores a los 60 ddt (µ)

De acuerdo con la prueba de comparación de media (Duncan a 0.05) se puede determinar que con los tratamientos de Algas y Lixiviado, se obtuvo mayor altura de planta, con el tratamiento de Micorrizas + Composta, se obtuvo mayor número de flores.

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias de variables (Duncan α 0.05) con el empleo de abonos orgánicos con el empleo de abonos orgánicos en el crecimiento en Lavanda.

Descrp Trat	Tratamiento	AltPl60	NoRa60	NoFlo60
Algas	4	50.15 a	6.16 a	11.5 a
Lixiviado	3	50.06 a	5.44 ab	11.0 a
Micorrizas+composta	2	47.11 a	5.77 a	12.0 a
Testigo	1	42.31 b	4.50 b	7.5 b

Los valores de la misma columna con la misma letar son estadísticamente iguales, AltPl60 = Altura de planta a los 60 ddt (cm), NoRa60 = número de ramas a los 60 ddt (µ), NoFlo60 = número de flores a los 60 ddt (µ)

En la figura 1 se muestra que en el crecimiento de las ramas de las plantas de lavanda, las cuales presentaron un mejor comportamiento en el empleo de lixiviado y micorrizas.

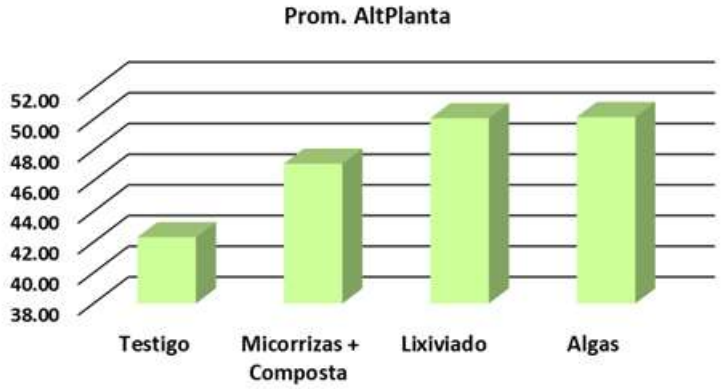


Figura 1. Crecimiento de las ramas, mediante la aplicación de abonos orgánicos en plantas de lavanda.

Desde hace varios años, la utilización de abonos orgánicos en diferentes plantas, ha resultado una alternativa viable, ya que permite una mejora en la producción de plantas de lavanda, mejora las características al obtener aceite esencial de éstas y al mismo tiempo suma en temas de sustentabilidad. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para las variables altura de planta, número de ramas y crecimiento floral a los 60 días. Esto indica que los tratamientos aplicados influyeron directamente en el desarrollo de las plantas. En la variable altura de planta, el valor obtenido para tratamientos fue superior al error experimental, demostrando que los biofertilizantes favorecieron el crecimiento vegetativo. De igual manera, para el número de ramas se observaron diferencias importantes entre tratamientos, reflejando un mejor desarrollo estructural en las plantas tratadas.

En cuanto al crecimiento floral, también se presentaron diferencias significativas, lo que evidencia que la aplicación de micorrizas, lixiviados y composta promovió un mejor desarrollo reproductivo en comparación con el tratamiento testigo. La comparación de medias permitió identificar los tratamientos con mejor respuesta agronómica. Los tratamientos con algas y lixiviado presentaron los valores más en altura de planta, indicando un mayor crecimiento vegetativo debido a una mejor absorción de nutrientes y agua.

Asimismo, la combinación de micorrizas + composta registró el mayor crecimiento floral, demostrando que la interacción entre microorganismos benéficos y materia orgánica favorece el desarrollo reproductivo. El tratamiento testigo presentó los valores más bajos en todas las variables evaluadas, evidenciando que la ausencia de biofertilizantes limita el crecimiento y desarrollo de las plantas. De manera general, los resultados indican que los tratamientos biológicos mejoraron significativamente el comportamiento agronómico del cultivo, destacando principalmente las algas.

CONCLUSIONES

La evaluación de diferentes fuentes de nutrición orgánica en el cultivo de lavanda (Lavandula angustifolia) permitió comprobar que la aplicación de biofertilizantes influye de manera significativa en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los resultados obtenidos evidenciaron que el tratamiento con algas presentó el mejor comportamiento agronómico, especialmente en la variable altura de planta a los 60 días después del trasplante, superando estadísticamente a otros tratamientos evaluados. Se observó que el uso de fertilizantes orgánicos favorece el desarrollo vegetativo y representa una alternativa sostenible para la producción de cultivos aromáticos, al contribuir al mejoramiento de las propiedades del suelo y reducir la dependencia de insumos químicos.

El estudio demuestra la importancia de implementar prácticas de manejo sustentable en sistemas de producción agrícola, particularmente en especies de alto valor comercial e industrial como la lavanda. La utilización de biofertilizantes orgánicos no solo mejora parámetros de crecimiento, sino que también promueve una agricultura más amigable con el medio ambiente. Finalmente, se recomienda continuar con investigaciones enfocadas en evaluar dosis, combinaciones y periodos de aplicación de estos productos, con el propósito de optimizar la productividad y calidad del cultivo en diferentes condiciones agroecológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sylvia S. Mader, S. S. (2016). Biología. McGraw-Hill. Explica la función de las micorrizas y su relación simbiótica con las plantas.

D. J. Sylvia, D. J., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). Principles and Applications of Soil Microbiology. Pearson. Describe biofertilizantes como micorrizas y microorganismos del suelo.

Food and Agriculture Organization (2017). Soil Organic Carbon: the hidden potential. FAO.

Upson, T., & Andrews, S. (2004). The Genus Lavandula. Timber Press.

Lis-Balchin, M. (2002). Lavender: The Genus Lavandula. CRC Press.

Cavanagh, H. M. A., & Wilkinson, J. M. (2002). Biological activities of lavender essential oil. Phytotherapy Research, 16(4), 301–308.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017). Producción de plantas aromáticas en México.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO EN APIO (*Apium graveolens*) EN DIFERENTES TRATAMIENTOS ORGÁNICOS

Carlos Manuel Uvalle Muñiz[1]; María Paula Morales Santarrosa[1]; Jorge Abraham Rodríguez Sandoval[2]; Josefina Jiménez Muñoz Ledo[2]; Daniel Rodríguez Mercado[2]; Ricardo Yáñez López[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable TecNM-Roque, [1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-Roque, [2]Docentes TecNM-Roque. Autor de correspondencia: jarsandoval.bit@gmail.com

RESUMEN

El apio, científicamente conocido como *Apium graveolens*, es una hortaliza perteneciente a la familia *Apiaceae*, la misma del perejil y la zanahoria. Es originario de regiones mediterráneas y actualmente se cultiva en muchas partes del mundo por su valor alimenticio, medicinal y comercial. Se caracteriza por tener tallos largos, crujientes y de color verde claro, además de hojas aromáticas y raíces fibrosas. El apio es una planta herbácea bianual que en agricultura se cultiva generalmente como anual. Requiere climas templados y alta disponibilidad de agua para lograr un buen desarrollo vegetativo. Prefiere suelos fértiles, profundos, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. Su propagación se realiza principalmente por semillas y el trasplante es una práctica común en su manejo agronómico. Desde el punto de vista nutricional, el apio destaca por su alto contenido de agua, fibra, vitaminas y minerales, especialmente vitamina K, vitamina C, potasio y antioxidantes. Debido a su bajo aporte calórico, es ampliamente utilizado en dietas saludables. Además, se le atribuyen propiedades diuréticas, digestivas y antiinflamatorias. El trabajo de investigación se desarrolló en el TecNM-Roque, en el área experimental de las camas intensivas, una vez realizado el trasplante de las plantas de apio, se aplicaron los diferentes bio fertilizantes orgánicos: micorrizas, lixiviado, composta, además de un testigo para la comparación de las mismas. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (v 9.1) en versión para Windows, llevándose a cabo un ANAVA y la prueba de comparación de medias (Duncan α 0.05). Los resultados del ANAVA arrojó diferencias significativas entre tratamientos, se determinó que las plantas con tratamientos con la aplicación de Lixiviado fue el tratamiento con mejores resultados, en lo que fue la altura de la planta a los 60 días después de su trasplante.

Palabras clave: *apio, apium graveolens, apiaceae, tratamiento.*

ABSTRACT

Celery, scientifically known as Apium graveolens, is a vegetable belonging to the Apiaceae family, the same as parsley and carrot. It is native to Mediterranean regions and is currently cultivated in many parts of the world for its food, medicinal and commercial value. Celery is a biannual herbaceous plant that in agriculture is generally

grown as an annual. It requires temperate climates and high-water availability to achieve good vegetative development. He prefers fertile, deep soils, with good drainage and rich in organic matter. Its propagation is mainly carried out by seeds and transplantation is a common practice in its agronomic management. It is characterized by having long, crunchy and light green stems, in addition to aromatic leaves and fibrous roots. From a nutritional point of view, celery stands out for its high content of water, fiber, vitamins and minerals, especially vitamin K, vitamin C, potassium and antioxidants. Due to its low-calorie intake, it is widely used in healthy diets. In addition, diuretic, digestive and anti-inflammatory properties are attributed to it. The research work was carried out in the TecNM-Roque, in the experimental area of the intensive beds, once the transplant of the celery plants was carried out, the different organic bio fertilizers were applied: mycorrhizae, leachate, compost, in addition to a witness for the comparison of them. The data were analyzed with the SAS statistical package (v 9.1) in version for Windows, carrying out an ANAVA and the comparison test of averages (Duncan α 0.05). The results of ANAVA showed significant differences between treatments, it was determined that plants with treatments with the application of Leachate were the treatment with the best results, in what was the height of the plant 60 days after its transplantation.

Keywords: *celery, apium graveolens, apiaceae, treatment.*

INTRODUCCIÓN

El apio (*Apium graveolens*) es una especie hortícola perteneciente a la familia Apiaceae, originaria de regiones mediterráneas y actualmente cultivada en diversas partes del mundo debido a su importancia económica y nutricional. Se caracteriza por poseer tallos largos, carnosos y crujientes, además de hojas aromáticas ampliamente utilizadas en la alimentación humana. Desde el punto de vista nutricional, el apio presenta un alto contenido de agua, fibra, vitaminas y minerales, principalmente vitamina K, vitamina C y potasio. Además, contiene compuestos antioxidantes y propiedades medicinales que le atribuyen efectos digestivos, antiinflamatorios y diuréticos, lo cual ha incrementado su demanda en mercados nacionales e internacionales.

El rendimiento y calidad del cultivo dependen de diversos factores agronómicos, entre ellos el manejo nutrimental. Tradicionalmente se han utilizado fertilizantes químicos para incrementar la productividad; sin embargo, el uso excesivo de estos insumos puede ocasionar problemas de contaminación ambiental y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la actualidad, los biofertilizantes orgánicos representan una alternativa sustentable para la producción agrícola, ya que contribuyen al mejoramiento de la fertilidad del suelo, favorecen la actividad microbiológica y reducen el impacto ambiental. Entre los productos más utilizados se encuentran los lixiviados, micorrizas, extractos de algas y otros bioestimulantes orgánicos que aportan nutrientes y promueven el crecimiento vegetal.

Desde la perspectiva de la genética y el mejoramiento vegetal, el cultivo de apio presenta variabilidad genética que permite seleccionar materiales con mayor rendimiento, tolerancia a estrés y mejor adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. La interacción entre genética y manejo nutrimental es fundamental para optimizar la productividad y calidad del cultivo. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de apio bajo condiciones de producción biointensiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizó en las camas biointensivas del Tecnológico Nacional de México campus Roque, ubicado en el km 8 de la carretera Celaya–Juventino Rosas, Guanajuato, México, localizado a una altitud aproximada de 1765 msnm. El clima predominante de la región es semicálido subhúmedo, con temperaturas medias anuales entre 14 y 22 °C y precipitaciones de 600 a 1000 mm anuales.

Para el establecimiento del experimento se realizó el acondicionamiento del terreno mediante deshierbe manual, remoción del suelo y formación de camas de cultivo. Posteriormente se efectuó el trasplante de las plantas de apio con una distancia adecuada entre plantas para favorecer el desarrollo vegetativo. La instalación del sistema de riego se realizó mediante cintilla por goteo, aplicando riegos de acuerdo con las necesidades del cultivo. Los tratamientos orgánicos se aplicaron al momento del trasplante y durante el desarrollo del cultivo.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, evaluando seis tratamientos: T1 = Testigo, T2 = Melaza, T3 = Viva, T4 = Lixiviado, T5 = Algas, T6 = Micorrizas + lixiviado. Las variables evaluadas fueron: a) Altura de planta a los 60 días después del trasplante (AltPl60), b) Número de hojas a los 60 días (NoHo60), c) Longitud del peciolo a los 60 días (LongPec60). Los datos obtenidos se analizaron mediante el paquete estadístico SAS versión 9.1 para Windows, realizando un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Duncan (α 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos para las variables evaluadas, indicando que la aplicación de abonos orgánicos influyó positivamente en el crecimiento del cultivo de apio.

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables de crecimiento en Apio debido al empleo de abonos orgánicos.

FV	GL	AltPl60	NoHo60	LongPec60
Tratamiento	5	6.61 **	7.633 **	0.015 **
Error	70	0.98	0.652	0.002
Total	89	109.18	91.767	0.344
CV(%)		10.9	12.5	6.6

**=Diferencias altamente significativas, *=Diferencias significativas, ns=sin diferencias significativas (P>=0.95), AltPl=Altura de planta a los 60 ddt, NoHo60=Numero de hojas después de 60 ddt, LongPec60=Longitud de peciolo despues de 60 ddt.

Los resultados obtenidos indican que el tratamiento con lixiviado presentó el mejor comportamiento agronómico, alcanzando la mayor altura de planta y un adecuado desarrollo vegetativo en comparación con los demás tratamientos.

En la prueba de comparación de medias de Duncan (α 0.05), el tratamiento con lixiviado alcanzó una altura promedio de 9.97 cm, superando estadísticamente a otros tratamientos. Asimismo, el tratamiento micorrizas + lixiviado presentó resultados favorables, demostrando que la combinación de microorganismos benéficos y nutrientes orgánicos favorece el crecimiento del cultivo.

Cuadro 2. Comparación de medias (Duncan α 0.05) con el empleo de abonos orgánicos en el crecimiento de Apio.

Descripción Trat	Tratamiento	AltPl60	NoHo60	LongPec60
Lixiviado	4	9.97 a	6.46 bc	0.82 a
Testigo	1	9.56 ab	7.00 ab	0.74 c
Micorrizas + Lixiviado	6	9.34 abc	5.51 d	0.81 a
Algas	5	8.90 bcd	6.04 cd	0.79 ab
Melaza	2	8.59 cd	7.49 a	0.80 a
Viva	3	8.18 d	6.11 cd	0.75 bc

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, AltPl=Altura de planta a los 60 ddt, NoHo60=Numero de hojas después de 60 ddt, LongPec60=Longitud de peciolo despues de 60 ddt.

Los resultados muestran que el tratamiento con lixiviado presentó la mayor altura de planta (9.97 cm), diferenciándose estadísticamente de la mayoría de los tratamientos, lo cual indica que este abono orgánico favoreció significativamente el crecimiento vegetativo del cultivo. Asimismo, el tratamiento testigo registró valores altos en altura; sin embargo, no superó estadísticamente al lixiviado. Por otra parte, los tratamientos con melaza y viva presentaron las menores alturas, evidenciando una menor respuesta fisiológica de las plantas.

En la variable número de hojas, el tratamiento con melaza obtuvo el valor más alto (7.49), mostrando diferencias estadísticas respecto a otros tratamientos. Esto sugiere que dicho tratamiento promovió una mayor emisión foliar, posiblemente debido a una mayor disponibilidad de energía y estimulación microbiana en la rizósfera. En contraste, el tratamiento con micorrizas + lixiviado presentó el menor número de hojas, indicando una respuesta menos favorable para esta variable específica.

Respecto a la longitud de pecíolo, los tratamientos con lixiviado y micorrizas + lixiviado registraron los valores más altos (0.82 y 0.81 cm, respectivamente), mostrando una mejor elongación y desarrollo estructural de la planta. Por el contrario, el tratamiento testigo presentó el valor más bajo, reflejando menor crecimiento en comparación con los tratamientos orgánicos aplicados.

Las letras presentes en cada columna indican grupos estadísticamente iguales; es decir, tratamientos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí de acuerdo con la prueba de Duncan al 5% de probabilidad. En términos generales, los resultados evidencian que la aplicación de abonos orgánicos tuvo un efecto positivo sobre las variables agronómicas evaluadas, destacando principalmente el lixiviado por su influencia favorable en el crecimiento y desarrollo del cultivo de apio.

La gráfica de promedios de altura de planta mostró claramente que el tratamiento con lixiviado presentó el mayor promedio de crecimiento, seguido del tratamiento testigo y micorrizas + lixiviado. Por otro lado, el tratamiento viva presentó los valores más bajos de crecimiento vegetal.

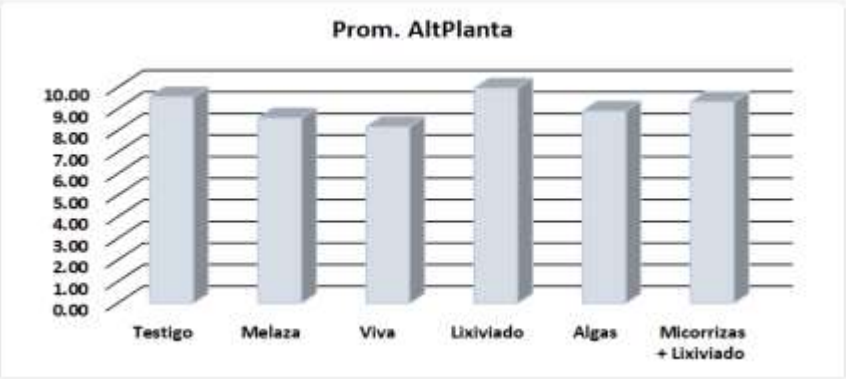


Figura 1. Promedio de altura de planta en apio bajo diferentes tratamientos orgánicos.

En general, los resultados obtenidos coinciden con investigaciones previas donde el uso de biofertilizantes orgánicos mejora el desarrollo de cultivos hortícolas debido a su efecto positivo sobre la actividad microbiológica y disponibilidad de nutrientes en el suelo.

CONCLUSIONES

La evaluación de diferentes tratamientos orgánicos en el cultivo de apio permitió comprobar que los biofertilizantes influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los resultados obtenidos evidenciaron que el tratamiento con lixiviado presentó el mejor comportamiento agronómico, especialmente en la variable altura de planta a los 60 días después del trasplante.

Asimismo, el uso de fertilizantes orgánicos favorece el desarrollo vegetativo del cultivo y representa una alternativa sustentable para la producción hortícola, al contribuir al mejoramiento de las propiedades del suelo y disminuir la dependencia de fertilizantes químicos. De igual manera, este estudio demuestra la importancia de implementar prácticas agrícolas sostenibles en sistemas de producción intensiva, particularmente en cultivos hortícolas de alto valor nutricional y comercial como el apio.

Finalmente, se recomienda continuar con investigaciones enfocadas en evaluar diferentes dosis, combinaciones y frecuencias de aplicación de biofertilizantes orgánicos, con la finalidad de optimizar la productividad y calidad del cultivo bajo distintas condiciones agroecológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sylvia S. Mader, S. S. (2016). Biología. McGraw-Hill.

D. J. Sylvia, D. J., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). Principles and Applications of Soil Microbiology. Pearson.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). Soil Organic Carbon: The Hidden Potential.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. Sinauer Associates.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017). Producción de hortalizas en México.

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Principles of Vegetable Production Simon, J. E., Chadwick, A. F., & Craker, L. E. (2018). Principles of Vegetable Production. CABI Publishing.

Vegetable Crops Rubatzky, V. E., & Yamaguchi, M. (2012). Vegetable Crops. Springer.

Introducción a la Edafología Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2014). Introducción a la Edafología: Uso y Protección del Suelo. Mundi-Prensa.

Food and Agriculture Organization FAO. (2021). Manual de buenas prácticas agrícolas para hortalizas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Biofertilizantes en la Agricultura Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2015). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. Colegio de Postgraduados.

Microbiología Agrícola Madigan, M., & Martinko, J. (2017). Microbiología Agrícola y Ambiental. Pearson Educación.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN CON EL EMPLEO DE DIFERENTES ABONOS ORGÁNICOS EN EL CRECIMIENTO DE PLANTA DE ROMERO (*Salvia rosmarinus* Spenn)

María Paula Morales Santarosa[1]; Carlos Manuel Uvalle Muñiz[1]; Josefina Jiménez Muñoz Ledo[2]; Jorge Abraham Rodríguez Sandoval[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-Roque, [1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable TecNM-Roque, [2]Docentes TecNM-Roque. Autor de correspondencia: josefinaclara1800@gmail.com

RESUMEN

El romero (*Salvia rosmarinus*), es una planta de la familia de Lamiaceae, se caracteriza por sus atributos biológicos en sus metabolitos secundarios y actuar como un antiinflamatorio, antimicrobiano, antioxidante y anticancerígeno, es una planta con la presencia de metabolitos como: el ácido carnósico, el carnosol, el ácido rosmárico y el alcanfor. Debido a sus propiedades medicinales es una planta potencial de cultivo. El trabajo se desarrolló en el TecNM-Roque en camas biointensivas, se empleó abonos orgánicos para evaluar su crecimiento: algas, viva orgánica, aplicación de melaza y lixiviado (micorrizas), el muestreó se realizó del crecimiento de las plantas de romero a los 60 días después del trasplante. Los datos se analizaron con el paquete SAS, mediante un ANOVA y la prueba de comparación de medias (Duncan a 0.05). El ANOVA arrojó diferentes estadísticas significativas en la variable de número de ramas. Los resultados muestran que en las plantas donde se empleó algas y viva orgánica, se obtuvo un mayor crecimiento de las ramas en 60 días.

***Palabras clave**: Romero; Rosmarinus officinalis; metabolito secundario*.

ABSTRACT

Rosemary (*Salvia rosmarinus*) is a plant belonging to the Lamiaceae family, characterized by its biological attributes found in its secondary metabolites and its action as an anti-inflammatory, antimicrobial, antioxidant, and anticancer agent. This plant contains metabolites such as carnosic acid, carnosol, rosmarinic acid, and camphor. Due to its medicinal properties, it is considered a potential crop plant.The study was carried out at TecNM-Roque using biointensive beds, where organic fertilizers were applied to evaluate plant growth: algae extract, organic compost, molasses application, and leachate (mycorrhizae). Plant growth measurements of rosemary were taken 60 days after transplanting. Data were analyzed using the SAS statistical package through ANOVA and Duncan's mean comparison test at 0.05 significance level. The ANOVA showed significant statistical differences in the variable number of branches. Results indicated that plants treated with algae extract and organic compost showed greater branch growth within 60 days.

Keywords: Rosemary; *Rosmarinus officinalis*; secondary metabolite.

INTRODUCCIÓN

La producción de romero (*Salvia rosmarinus*) en Méxio es un sector significativo de la agricultura de las plantas aromáticas, con una producción anual de casi 324 toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2017). Los estados productores destacados son el Estado de México y Baja California, que aportan el 90 y 10 por ciento del total nacional respectivamente (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2017). El romero es valorado tanto por su uso en la cocina como en la medicina y su producción se ha expandido a otros estados como San Luis Potosí. Los principales productores de hierbas aromáticas de exportación que cumplen con los protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas o Certificación orgánica están en los estados Morelos, Baja California Sur, Baja California, Estado de México, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala.

Entre los principales usos del romero son en cosméticos, saborizantes de comida (Basheer, 2018; Borges *et al*., 2018), mejoradores de la vida de anaquel en alimentos perecederos (Fidan *et al*., 2019; Said, Waheed & Khalifa, 2019), estimulantes del crecimiento del cabello, como aroma en la preparación de perfumes y fragancias (Endo *et al*., 2018), como aditivo para shampoo, crema y jabón (Akhbari, Masoum, Aghababaei & Hamedi, 2018), en colorantes naturales de lociones y enjuagues bucales (Gomes *et al*., 2020).

El romero es una planta leñosa y aromática que puede vivir de 15 a 20 años. Es un arbusto de hoja perenne con una altura promedio de 1.2 m. El romero tiene flores de color blanco, púrpura o azul y hojas fragantes, coriáceas, que parecen agujas de pino; además de utilizarse como condimento y aromatizante de comida, es una materia prima para la obtención de aceite esencial, estimulantes y tónicos medicinales, para perfumería y usos industriales (AgexExport, 2021).

México cuenta con zonas con alto potencial para la producción de hierbas finas, aromáticas y medicinales, y su creciente demanda las ha convertido en productos con un nicho de mercado rentable y en expansión (Juárez-Rosete *et al*., 2023). Su cultivo requiere de suelos moderados y de un clima en general de -17 hasta 25 ºC, su demanda hídrica es moderada (AgexExport, 2021). El objetivo de este ensayo fue la de identificar el efecto de la aplicación de abono orgánico para estimular el crecimiento de la planta de romero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizó en el área experimental de las camas biointensivas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, el cual se ubica en el km. 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, las

coordenadas geográficas son: 20°34' 59.12" Latitud Norte y 100° 49" 41.16" Longitud Oeste. Con una altitud de 1765 msnm, en la región de Celaya, el clima predominante es semicálido, subhúmedo con una temperatura media que 18 °C; una precipitación pluvial que varía de 600 a 1000 mm anuales. Los suelos en la región son el vertisol péllico y vertisol crómico, predominando los primeros, siendo éstos de estructura arcillosa, planos, de reacción ligeramente alcalina, fértiles y aptos para una gran variedad de cultivos.

Para el establecimiento del experimento se realizó el deshierbe manual, se removió el suelo en dos capas sucesivas y se realizó la formación del surco con separación de un metro, donde posteriormente se realizaría el establecimiento de las plantas a una distancia de 50 cm. La instalación del sistema de riego fue mediante un sistema por goteo, realizando el suministro de agua dos veces por semana, con un gasto aproximado 4-6 L en forma diaria por cada planta. La aplicación de los abonos orgánicos se realizó en el momento del trasplante.

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y empleando cuatro plantas por tratamiento, donde posterior se seleccionarían dos plantas centrales para la toma de datos, los tratamientos evaluados fueron: 1) Melaza (1 ml por L^{-1} de agua), 2) Lixiviado + micorrizas (1 ml de lixiviado por L^{-1} de agua y micorrizas 0.5 g. por L^{-1} de agua), 3) Viva (5 ml por L^{-1} de agua), 4) Algas (0.5 g. por L^{-1} de agua) y 5) Testigo; dando un total de 20 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: a) altura de planta, b) No de ramas, c) Crecimiento de ramas, las variables evaluadas fueron evaluadas a los 60 días de iniciado el ensayo. Los datos muestreados se analizaron mediante el paquete estadístico SAS (v 9.1) de la versión para Windows y los tratamientos se les aplicó una prueba de comparación de medias de Duncan (α 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas (P ≤ 0.05) en la etapa fenológica AltPl60 (altura de planta), en el número de ramas (NoRam) presentó diferencias altamente significativas y en el crecimiento de ramas (CreRam) presentó diferencia significativa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables agronómicas en Romero debido al efecto de la aplicación de abonos orgánicos.

FV	gl	AltPl60	NoRam60	NoFlo60
Trat	4	57.25 *	8.574 **	12.325 *
Error	12	8.08	4.04	0.925
Total	19	372?	90.55	62.80
CV (%)		7.2	21.6	11.1

** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01), * = Diferencias significativas (P ≤ 0.05), ns = No significativo (P ≥ 0.05), gl = grados de libertad, altPl60 = Altura de planta a los 60 ddt (cm), NoRam60 = Número de ramas a los 60 ddt, NoFlo60 = Número de flores a los 60 días (promedio).

La prueba de comparación de media (Duncan α 0.05) se observó que en la altura de planta el tratamiento 4 (Algas) presentó los valores promedios más altos con una media de 44.75, mientras que el valor promedio más bajo fue en el tratamiento 1 (Melaza) con una media de 34.75. En la variable de número de ramas se determinó en base al promedio de las ramas que el tratamiento 2 Lixiviado (Micorrizas) se presentó la mayor cantidad de ramas con valor promedio de 7.75 y el tratamiento 1 (aplicación de melaza) con menor valor promedio, en el caso del crecimiento de las ramas todos los tratamientos presentaron valores promedios estadísticamente iguales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de compración de medias de variables (Duncan α 0.05) con el empleo de abonos orgánicos en el crecimiento de Romero.

Descrip Trat	Trat	AltPl60	NoRa60	NoFlo60
Algas	4	44.75 a	4.75 ab	9.25 a
Viva Orgánica	3	40.25 b	4.50 ab	9.75 a
Testigo	5	38.25 bc	4.50 ab	7.00 b
Lixiviado (micorrizas	2	37.00 bc	7.75 a	10.50 a
Melaza	1	34.75 c	4.25 b	6.50 b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, AltPl = Altura de planta (cm), NoRa = Número de ramas a los 60 ddt, NoFlo= Número de flores a los 60 ddt.

En la figura 1 se muestra el crecimiento de las plantas de romero, dado el efecto de aplicación de abonos orgánicos para cada una de las variables evaluadas, el empleo del abono orgánico donde se empleó de algas presenta el valor promedio de mayor altura.

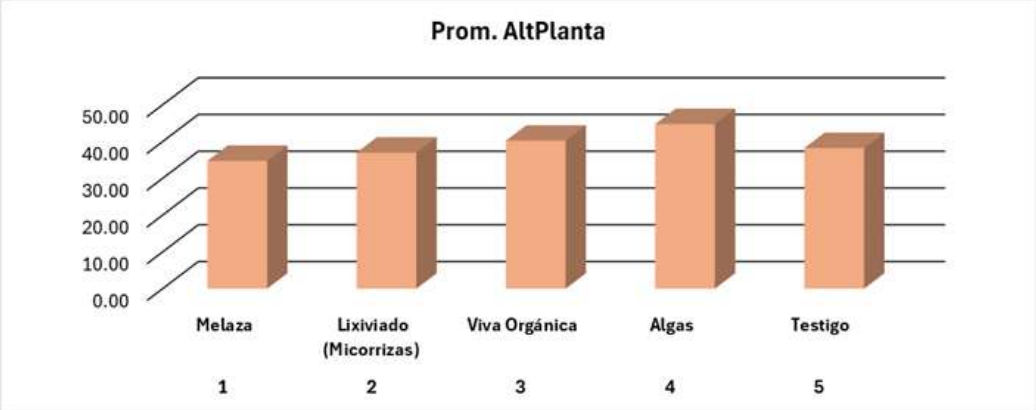


Figura 1. Crecimiento de la planta de romero con el empleo de abonos orgánicos establecidos en el TecNM-Roque.

CONCLUSIONES

El empleo de algas en dosis (0.5 g. por L^{-1} de agua), incrementó el crecimiento de las plantas de Romero.

La agricultura orgánica es una alternativa en la producción de plantas aromáticas, que ofrecen compuestos fitoquímicos, para mejorar la calidad de vida de estas plantas medicinales, además de priorizar la salud del suelo y el equilibrio ecológico.

Se hizo el análisis de aceite esencial obtenido y tuvo un ph de 5.2, en futuras investigaciones se sugiere un tratamiento diferente en algunas plantas, para obtener el ph de 3, el que se recomienda para utilizarse en perfumería. Con ello se pretende el poder contar con aceite esencial de romero como un producto de calidad orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

https://www.google.com/search?q=Abono+org%C3%A1nico%C2%B4en+el+desarrollo+de+Planta+de+Romero.pdf. (2021). MYPimes, Asociación Guatemalteca para exportación.

Juárez-Rosete, C.R.; Aguilar-Castillo, J.A.; Juárez-Rosete, M.E.; BugarínMontoya, R.; Juárez-López, P.; Cruz-Crespo E. 2013. Hierbas aromáticas y medicinales en México. *Revista Bio Ciencias*, 2(3): 119-129.

Amador, M. 1999.ONG y agricultura orgánica. Un punto de vista. Revista APORTES. Edición especial: Agricultura Orgánica, una forma diferente de hacer desarrollo. 121-122:20-23 pp.

Ocampo, R.A.; Valverde, R. 2000. Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales. TRAMIL. San José, Costa Rica. 148 p.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PROPAGACIÓN DE TRES CACTÁCEAS MEDIANTE INJERTO DE CORONA EN 2 PORTAINJERTOS EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

Daniel Utrera López[1]; Gustavo Pérez Gonzalez[2]; Juana Fabiola Jiménez Flores[3]; Daniel Montiel López[4]; Alfredo Díaz Criollo[5]

[1]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667. [2]Lic.en Biología Tecnológico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667., [3]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667., [4]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667., 5Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667. Autor de correspondencia: daniel.ul@ugalvan.tecnm.mx.

RESUMEN

Las cactáceas son un grupo de plantas endémicas del continente americano, se han descrito 1500 especies de las cuales 850 se encuentran en México, eso nos convierte en el país más rico en diversidad de especies de Cactus. Sin embargo, por diversas actividades humanas, un gran número de especies se encuentran en alguna categoría de riesgo en la NOM 059, indicándonos que muchas de ellas se encuentran seriamente amenazadas, de ahí la importancia de implementar estrategias que contribuyan a la conservación de especies silvestres y una de estas es el injerto ya que al hacerlo obtendremos crecimiento, brotación, floración y semillas en un tiempo menor. Se evaluaron tres géneros de cactáceas, *Astrophytum (Astrophytum asterias), Lobivia (Lovibia arachnacantha) y Gymnocalycium (Gymnocalycium mihanovichii*), sobre dos portainjertos *Myrtillocactus (Myrtillocactus geometrizans)* e *Hylocereus (Hylocereus undatus)*, realizando el injerto de corona o también conocido como caras planas para determinar cuál de los dos portainjertos proporcionaría un mejor crecimiento de éstos. El diseño experimental usado fue completamente a azar 3 x 2 x 10, de las 60 repeticiones que se realizaron se logró una supervivencia del 100% en ambos portainjertos, los mejores resultados obtenidos fueron en plantas injertadas en *Myrtillocactus geometrizans*, ya que en las especies *Astrophytum* asterias y *Lobivia arachnacantha* se obtuvo un mayor crecimiento, presencia de brotes y floración, sin embargo, la especie *Gymnocalycium mihanovichii* presentó mejores resultados en el portainjerto de *Hylocereus undatus* ya que se obtuvo brotaciones en algunas unidades, siendo anormal en esta especie de cactácea a una corta edad.

ABSTRACT

Cacti are a group of plants endemic to the Americas. 1,500 species have been described, 850 of which are found in Mexico, making it the country with the greatest diversity of cactus species. However, due to various human activities, a large number of species are listed in some category of risk under NOM-059, indicating that many are seriously threatened. This underscores the importance of implementing strategies that contribute to the conservation of wild species, and one such strategy is grafting. Grafting allows for faster growth, sprouting,

flowering, and seed production. Three genera of cacti, Astrophytum (Astrophytum asterias), Lobivia (Lovibia arachnacantha) and Gymnocalycium (Gymnocalycium mihanovichii), were evaluated on two rootstocks Myrtillocactus (Myrtillocactus geometrizans) and Hylocereus (Hylocereus undatus), performing crown grafting or also known as flat faces to determine which of the two rootstocks would provide better growth of these. The experimental design used was completely randomized 3 x 2 x 10, of the 60 repetitions that were carried out a survival of 100% was achieved in both rootstocks, the best results obtained were in plants grafted on Myrtillocactus geometrizans, since in the species Astrophytum asterias and Lobivia arachnacantha there was greater growth, presence of shoots and flowering, however, the species Gymnocalycium mihanovichii showed better results in the rootstock of Hylocereus undatus since shoots were obtained in some units, being abnormal in this species of cactus at a young age.

Palabras clave: *Injerto, cactáceas, Portainjerto, Astrophytum, Gymnocalycium, Lobivia, Myrtillocactus, Hylocereus.*

INTRODUCCIÓN

México es depositario de una rica variedad de especies de flora; de hecho, es el tercer o cuarto país en el planeta en riqueza de plantas. Los cálculos conservadores estiman que alberga la décima parte de la diversidad biológica del mundo y es la nación con mayor cantidad de reptiles, el segundo en mamíferos, el cuarto en anfibios y el séptimo en aves (Alanís 2001). Las cactáceas son originarias de América, se estima que hay alrededor de 1400 especies de las cuales 518 son endémicas de México, lo que coloca al país como el principal centro de diversidad de cactáceas (Estrada-Arellano et al., 2018); no obstante, la destrucción de su hábitat y el saqueo son factores que reducen sus poblaciones, porque tienen limitantes para restablecerse después de alguna perturbación en su hábitat (Hernández y Godínez, 1994). Las cactáceas en México son un grupo representativo de las zonas áridas que actualmente presenta problemas de conservación debido a la sobre explotación y el saqueo de los que han sido objeto en todo el país. Actualmente muchas de las actividades antropogénicas están causando la disminución de las poblaciones de cactáceas, con acciones tales como la destrucción de su hábitat por asentamientos humanos, saqueo ilegal o la introducción de especies exóticas. (Meza-Rangel, 2014). Entre sus usos destaca el ornamental debido a la belleza de sus flores, el color y forma de sus espinas y tallos, el tamaño, presencia de fieltro, pelos, colores diversos provocados por mutaciones, entre otras características; por ello el saqueo ilegal de especies de su hábitat ha puesto en riesgo de extinción a muchas especies (Duarte et al., 2014); ante esto el gobierno mexicano creó la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, para la protección de especies nativas de México, incluidas las cactáceas. Sin embargo, el interés de los coleccionistas para adquirir estas plantas no ha cesado; por lo anterior es necesario establecer estrategias para su conservación y aprovechamiento sustentable, que entre las acciones incluyan estudios de las poblaciones silvestres para conocer su estatus (Estrada-Arellano et al., 2018)

Con este trabajo se pretende Propagar y conservar 3 géneros de cactáceas mediante el injerto de corona en dos portainjertos *(Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) e *Hylocereus undatus* (pitahaya), con el fin de evitar la extracción ilegal de su hábitat y que los invernaderos hagan uso de esta técnica de propagación para abastecer la demanda de coleccionistas y con esto mitigar un poco la destrucción de ecosistemas.

Taxonomia y morfologia de las cactaceas en estudio. *Astrophytum asterias* (cactus estrella o falso peyote) es un pequeño cactus de Tallo globoso hemisférico de hasta 5.5 cm de altura y de 6 a 10 cm de diámetro, de color verde grisáceo, con tricomas, sin espinas y con 6 a 9 areolas. Las flores son amarillas y tienen un centro rojo. Los frutos largos, rojos y carnosos producen de 56 a 95 semillas marrones/negras (Rocha, 1995). Presenta epidermis verde grisácea provista de numerosos y diminutos puntos blancos; ápice hundido, con algo de lana. Costillas 7 u 8, muy anchas, redondeadas y nada o poco prominentes, de 3 a 3.5 cm de anchura, duras, rectas. Aréolas en el dorso de las costillas, distantes entre sí, 4 a 7 mm, prominentes, circulares, de 4 a 5 mm de diámetro, con fieltro blanco. La especie fue listada en octubre de 1993 como una especie de prioridad dos por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS, 1993), en el apéndice 1 de CITES (Lüthy, 2001) y en la lista mexicana de especies en peligro de extinción.

Gymnocalycium mihanovichii es un género de cactus de tallo globoso del este de los Andes y Sudamérica (Anderson, 2001). La especie *Gymnocalycium* se caracteriza por presentar bajo crecimiento, tallos generalmente solitarios con varias costillas y en ocasiones tuberculadas, no tienen diferenciada zona fértil, las flores simplemente nacen del ápice del tallo generalmente deprimido. Las flores se abren durante el día, morfológicamente son infundibuliformes o acampanadas, y de coloración blanca o rosada. Los pericarpelos y los tubos florales poseen unas pocas escamas anchas y obtusas con márgenes membranosos, sus areolas son desnudas y los frutos son oblongos o globosos, secos o carnosos y dehiscentes (Anderson, 2001). *Gymnocalycium* comprende unas 50 especies, la mayor parte de ellas endémicas de regiones geográficas restringidas (Charles, 2009; Metzing, 2012). En Argentina es el género de la familia con mayor número de especies (41), representando el 18% de la riqueza total de *Cactaceae* (Kiesling et al., 2008). Actualmente al género se lo divide en subgéneros de acuerdo a la clasificación establecida por (Schütz 1986) basado en las características de las semillas, la anatomía floral y del fruto. Es abundante en ambientes serranos entre 500 y 1200 msnm (Charles, 2009; Gurvich et al., 2014).

El Género *Lobivia* comprende a más de 100 especies y subespecies de plantas de la Familia *Cactaceae*, su nombre es un anagrama de Bolivia el país con más abundancia en este género, también están distribuidos en Argentina y Perú. Tienen Formas globulares o cilíndricas achatados (pequeños) muy parecidas a las *Echinopsis*. (Actualmente todo este género migro al género *Echinopsis,* tienen abundante floración, con flores

grandes y de vivos colores. Este género necesita del frio y la sequedad del invierno para poder florecer en primavera y verano y en primavera-verano mantener en húmedo, en exposición directa al sol. Se agrupa libremente, formara grandes grupos con el tiempo, su tallo es de aplanado a esférico de color verde oscuro con costillas con muescas débiles, cada cabeza mide hasta 4 cm. De ancho, sus espinas, todas las radiales en forma de telaraña, blancas, amarillas o marrones, erizadas, curvas y cortas. Sus flores muy llamativas de unos 5 cm. De ancho con un tubo floral delgado de hasta 5 cm o más de largo, comúnmente de color amarillo dorado a naranja, a menudo más grandes que la planta misma, pero también se reportan flores de color rojo o blanco, las flores se abren durante el día desde la primavera hasta el verano, su fruto es verde rojizo. (Buining & Ritter 1974).

El garambullo *Myrtillocactus geometrizans* es una cactácea columnar endémica de México (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978). Estos cactus se caracterizan por ser plantas arborescentes o arbustivas muy ramificadas con forma de candelabro, sus ramas pueden ser verde oscuras, verde amarillentas, verde azulosas o glaucas, con 5 a 8 costillas. A diferencia de otros cactus similares de gran tamaño, los garambullos se caracterizan por tener flores muy pequeñas, de unos pocos centímetros, blancas, de color crema o ligeramente verdosas y con pocos estambres; estas se desarrollan de forma solitaria o en pequeños grupos de hasta nueve flores; el fruto, también pequeño, es una baya globosa, de color rojo o púrpura oscuro, carnosos con pulpa jugosa roja o púrpura (Arias & Aquino 2019). Se distribuye principalmente en las zonas áridas en los estados de Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas, Tamaulipas, Nuevo León, Estado de México, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca (Guzmán et al., 2003). Las flores son tubulares de color blanco verdoso y producen frutos comestibles del tipo baya, de color azul rojizo (Arias 2010).

H*ylocereus undatus.* Existen hasta 27 especies del género *Hylocereus*, de las cuales solo 19 tienen descripciones taxonómicas y, de estas, tres son consideradas como sinonimias, de tal forma que, de acuerdo con publicaciones válidas para la taxonomía de cactáceas, a la fecha hay 16 especies formalmente descritas, de estas 16 especies del género 12 se encuentran en México (Rodríguez, 2000). La planta de Pitahaya es perenne, epífita, trepadora con forma triangular, carnosa y de tallos verdes articulados. Sus tallos se componen de tres alas onduladas con márgenes festoneados córneos. Los segmentos del tallo pueden crecer hasta 6 m de largo. Cada canal de las alas festoneadas tiene de una a tres espinas cortas de 1,5 cm de espesor y algunas variedades son más espinosas que otras. Las raíces aéreas crecen desde la parte inferior de los tallos, proporcionando anclaje para que las plantas trepen paredes, rocas o árboles. La floración es nocturna, las flores tienen verde exterior y segmentos blancos interiores miden aproximadamente 30 cm de largo y 23 cm de ancho, su estigma es lobulado y de color verde. Tienen forma de campana y muy fragante; abren durante la madrugada noche y marchitez al amanecer (Zee et al, 2004) (Le Bellec y Valliant 2011). La pitahaya (*Hylocereus sp*.) se

encuentra ampliamente distribuida en la selva tropical y subtropical de México y representa un recurso fotogénico con potencia frutícola, ornamental y medicinal (Bárcenas-Abogado, et al.,2002).

Propagación en cactáceas mediante injerto. Los injertos en cactáceas, se acostumbran hacer en especies de lento crecimiento o de difícil enraizamiento. Las plantas sobre las que se coloca el injerto se seleccionan por su rapidez de crecimiento y facilidad de cultivo. Las especies recomendadas para servir de patrón de injerto son: *Pereskia* sp., *Myrtillocactus geometrizans*, *Hylocereus* sp. y *Selenicereus* sp. Los tejidos se sueldan mejor en la época vegetativa, por lo tanto, se recomienda injertar en primavera y verano, así como en días no lluviosos que pudieran proporcional un ambiente apto para que proliferen hongos y bacterias (Harman y Kester's 2002).. El injerto de caras planas es el más utilizado porque es el más sencillo y rápido, suele dar buenos resultados y se realiza desde finales de primavera a mediados del verano. Consiste en cortar a lo largo de un trozo del extremo de una planta vigorosa con un cuchillo se dé una base de 2.5 a 5 cm. De alto en la maceta, la planta a injertar se corta de un solo tajo para colocarla sobre el patrón. Si el anillo del has vascular del patrón e injerto tienen el mismo diámetro coinciden los haces vasculares al unir la planta (Toogood, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo o estudio se realizó en un periodo comprendido del mes de febrero a agosto del 2023, en un vivero de 30 metros cuadrados, con estructura de concreto y cubierta de plástico para invernadero con malla mosquitera alrededor del mismo ubicado en Cardel, Veracruz, con las coordenadas 19°21'35'N 96°21'32'W. La temperatura promedio máxima registrada en el interior ha sido de 38 °C y la mínima cuando se ha presentado mal tiempo ha sido de 24 °C. Se empleo un diseño experimental al azar, 3 x 2 x 10 (3 injertos x 2 portainjertos x 10 repeticiones). La duración del experimento abarco un periodo de 180 días (6 meses); se analizaron las variables de crecimiento: diámetro de la planta injertada en los dos portainjertos.

Se realizaron los injertos de la siguiente manera: A) Selección del portainjerto a trabajar, B) Se realiza un corte horizontal en la punta del portainjerto. C) Corte transversal de 45º a las 5 costillas del portainjerto para que no se deshidrate el ápice. Este detalle es muy importante para que el tallo no se comprima y despegue el injerto al secar la herida, D) Vista del ápice con los cortes de las costillas realizados (biselado), E) Corte de la planta a injertar en donde se observan los haces vasculares que tienen que coincidir para así tener un injerto exitoso y F) Amarre del injerto con película autoadherible; G) Injerto terminado. como se muestra en la figura 2. Se tomaron datos de crecimiento en mm cada 30 días.

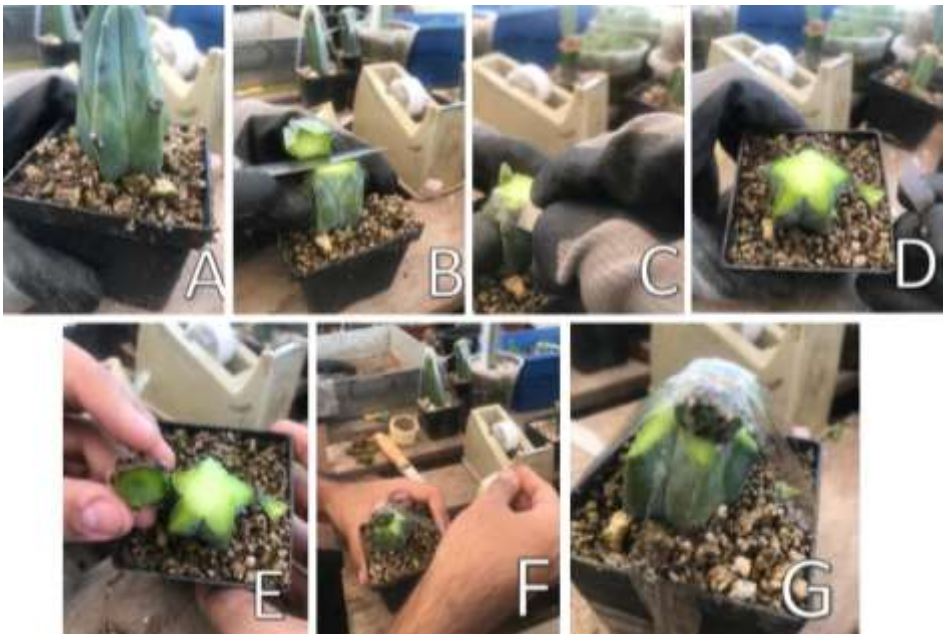


Figura 1 Procedimiento para realizar un injerto. (Pérez Gustavo, 2023).

Cuadro 1. Ejemplo de toma de datos de una de las 3 especies: Serie "A" realizado sobre patrón (*Myrtillocactus*), Serie "a" realizado sobre patrón (*Hylocereus undatus*), medidas en milímetros de injerto de corona (*Astrophytum asterias*).

Fecha	Unidades A (*Myrtillocactus*)									
06/02/2023	20	21	20	20	21	20	20	19	20	20
20/02/2023	20	22	24	21	22	22	20	19	202	21
14/03/202	22	25	25	24	23	22	21	23	22	23
07/04/2023	24	28	26	27	24	23	27	26	27	25
07/05/2023	26	32	29	30	25	26	32	31	28	28
7/06/202	30	36	29	35	27	34	36	38	33	32
07/07/2023	33	40	31	42	30	39	41	44	36	35
7/08/2023	36	45	31	45	38	44	45	50	38	35
Fecha	Unidades "a" (*Hylocereus undatus*)									
06/02/2023	19	20	20	20	19	19	20	20	20	20
20/02/2023	19	20	20	20	19	19	20	20	20	20
14/03/202	20	21	22	21	20	19	21	21	20	22
07/04/2023	21	21	23	21	21	22	21	21	21	23
07/05/2023	21	21	24	21	22	23	22	22	21	23
7/06/202	23	26	26	22	25	24	23	23	24	24
07/07/2023	23	30	27	23	25	26	25	26	25	25
7/08/2023	25	32	32	25	27	28	27	29	30	26

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos se analizaron donde se obtuvieron graficas porcentuales de crecimiento entre el injerto y el patrón, comparación porcentual de crecimiento entre patrones por serie, y para cada una de las series de injertos con las que se trabajó. El análisis de varianza de la variable de crecimiento se hizo evaluando el factor principal del diseño: crecimiento en milímetros de planta injertada y el patrón. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat. Versión 2020. Las

unidades experimentales consistieron en dos portainjertos, los cuales son *Myrtillocactus geometrizans* e *Hylocereus undatus*, donde el número de replicas por tratamiento fue de 10 repeticiones en un portainjerto y 10 en otro; las plantas utilizadas para injertar fueron *Astrophytum asterias, Lobivia arachnacantha* y *Gymnocalycium mihanovichii.*

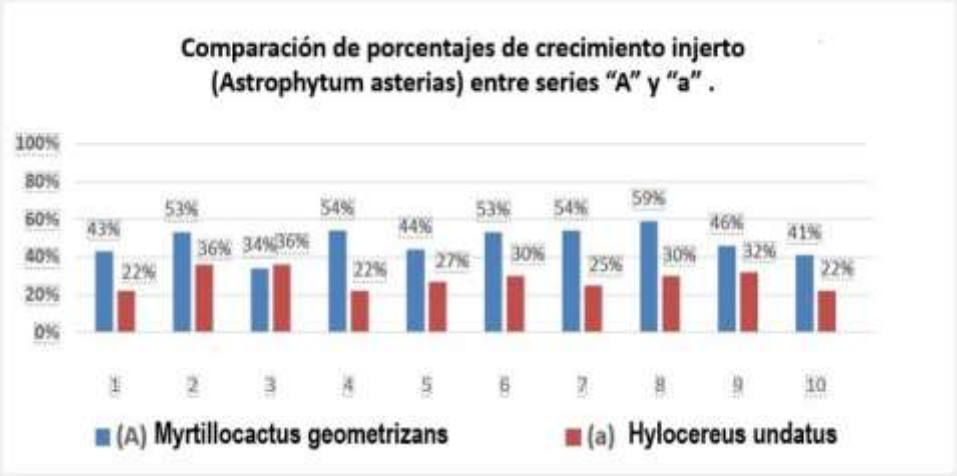


Figura 2 Comparación de porcentajes de crecimiento injerto *Astrophytum asterias* en los Portainjertos *Myrtillocactus geometrizans* a) y Hylocereus undatus a) en un periodo de seis meses.

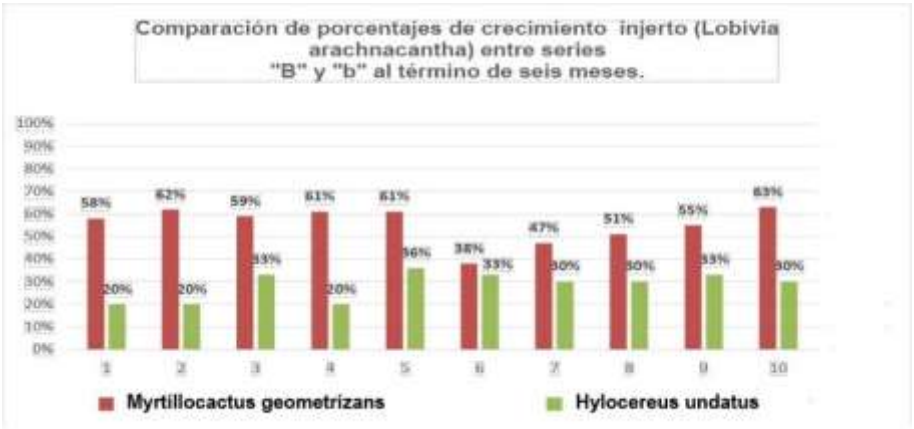


Figura 3 Comparación de porcentajes de crecimiento injerto *Lobivia arachnacantha* en los Portainjertos Myrtillocactus geometrizans (B) y Hylocereus undatus (b).

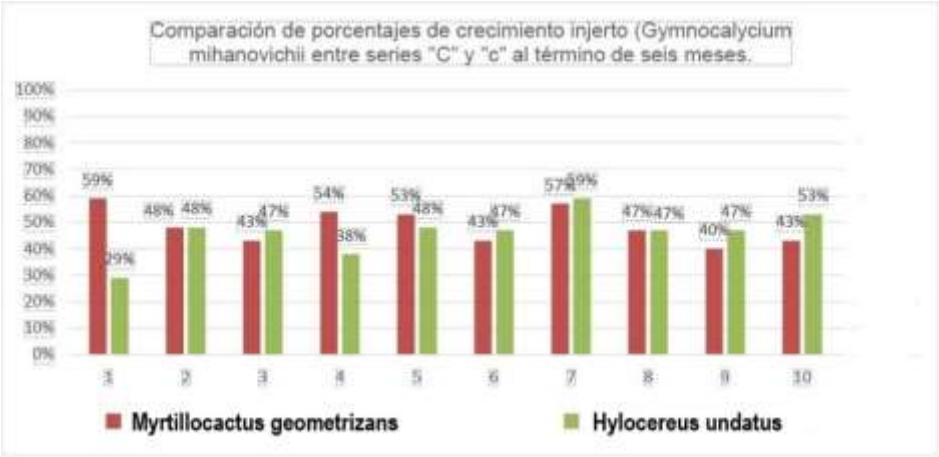


Figura No. 4. Comparación de porcentajes de crecimiento injerto *Gymnocalycium mihanovichii* en los Portainjertos *Myrtillocactus geometrizans* c) y *Hylocereus undatus* c).



Figuras 5 y 6. Se observan las unidades que se utilizaron para injerto Astrophytum asterias en los Portainjertos *Myrtillocactus geometrizans* A) y *Hylocereus undatus* a). (Pérez Gustavo, 2023).



Figuras 7 y 8. Se muestra la evidencia realizada para la serie "B" (*Lobivia arachnacantha*) realizado sobre patrón (*Myrtillocactus geometrizans)*. (Pérez Gustavo, 2023).



Figuras 9 y 10. Se observa la unidad que se utilizó para las series “C” Gymnocalycium mihanovichii en los Portainjertos Myrtillocactus geometrizans (C) y Hylocereus undatus (c). (Pérez Gustavo, 2023).

CONCLUSIONES

Mediante comparación del crecimiento de injertos sobre los dos portainjertos (*Myrtillocactus Geometrizans e Hylocereus undatus*), las especies que mostraron diferencias significativas en crecimiento fueron *Astrophytum asterias* con un porcentaje de crecimiento del 65% mientras que en *Hylocereus undatus* fue de 57%, por otro lado, al injertar *Lobivia arachnacantha* en *Myrtillocactus geometrizans* hubo un crecimiento del 70% y en *Hylocereus undatus* un crecimiento de 57%. La especie *Gymnocalycium mihanovichii* si presentó crecimiento entre porta injertos y con respecto a la prueba estadística, quedo demostrado que no hubo mucha diferencia significativa, los 2 patrones le dieron al injerto el mismo porcentaje de crecimiento, esta especie se adapta muy bien tanto injertada en *Myrtillocactus geometrizans* con un 65% de crecimiento , así como para *Hylocereus undatus* con un 64%, la mayor diferencia en esta serie entre los portainjertos está en que Hylocereus undatus logro que en 3 unidades existiera presencia de brotaciones, lo que comprueba lo redactado por varios coleccionistas y autores, que el mejor portainjerto para reproducir al género *Gymnocalycium* es usando como patrón al *Hylocereus undatus.*

La propagación de cactáceas mediante injertos es una técnica es la más utilizada en el mundo, eficiente y eficaz cuando se desea obtener rápido crecimiento, floración y brotación en un tiempo menor, en comparación con una planta que sigue su proceso de crecimiento en raíz, las cactáceas que están en categorías de riesgo, pueden ser tratadas por medio de esta técnica para conservarlas y reproducirlas rápidamente con el fin de mitigar un poco la extracción ilegal y el peligro constante de que desaparezcan totalmente de su hábitat

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alanís, G.F. 2001. Saqueo y tráfico de cactáceas, un detrimento patrimonial de recursos naturales. En: Alanís FG, Ledezma MA (eds). Memoria 3er. Taller regional de cactáceas del noreste de México.

Anderson, F. E. 2001. The cactus family; by Timber Press, Inc. The Haseltine building 133 Sw second Arias S. & D. Aquino. 2019. Familia Cactaceae I. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes: 209 1-295.

Avenue, Suite 450 Portland, Oregon 97204, USA; 776.

Bravo-Holis H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Buining & *F.* Ritter) *Echinopsis arachnacantha* 1974 H. Friedrich. in Kakteen And. Sukk. 25(4): 82.

CITES Cactaceae Checklist compiled by D. Hunt (1992). Royal Botanic Gardens, Kew, U.K.

Duarte, M., P.C. Guerrero, G. Carvallo, R.O. Bustamante 2014. Conservation network design for endemic cacti under taxonomic uncertainty. Biological conservation 176: 236-242.

Estrada-Arellano, J. R., A. E. Estrada-Castillon, M. M. Salinas-Rodríguez, J. Sánchez-Salas, E. O. Le,

F.; Vaillant, F. 2011. Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits 247-273e.

Harman, L. and M. Kester's. 2002. Plant propagation "principles and practices" Edition seventh. Ed. Hudson T. Prentice Hall New Jersey USA.

Hernández H.M. y Bárcenas R.T. 1994. Endagered cacti in the Chihuahua desert: Distribution patterns Conservation Biology. 9:1176-1188.

Luthy J. 1995. Taxonomische Untersuchung der Gattung Mammillaria Haw (cactaceae) Arbeitskreises fur Mammilarienfreunde, Osnabruck 149 pp.

Rueda-Puente, C. Márquez-Hernández. 2018. Cactus diversity in the Sierra del Rosario, Durango, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 5:133-141.

Godínez, H.A. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana. 26:33-52.

Kiesling, R.; Larrocca, L.; Faúndez J.; Metzing D.; Albesiano, S. 2008. Cactaceae. En: Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (F.O. Zuolaga, O. Morrone & M. J. Belgrano eds.) Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107, Saint Louis, EUA. Vol. 2, Pp: 1715-1830.

Meza-Rangel, E., Tefoya, F.; Lindig-Cisneros, R; Sigala-Rodriguez, J.; y Pérez, E. 2014. Distribución actual y potencial de las cactáceas Ferocactus histrix, Mammillaria bombycina y M. perezdelarosae en el estado de Aguascalientes, México.

Rocha, L., 1995. Estudio poblacional del "Falso peyote" *Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem. (Cactaceae) en una fracción del matorral espinoso tamaulipeco en Villagrán, Tamaulipas, México. MSc. Dissertation, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Rodríguez, C.A. 2000. *Pitahayas*. Estado mundial de su cultivo y comercialización. Maxcanú Yucatán, Fundación Yucatán Produce A.C. y Universidad Autónoma de Chapingo 1-22 pp.

Toogood, A. 2002. Propagating Plant a Darling Kinderley Book. Royal Horticulture Society. Barcelona, España.

Zee, F.; Yen, C.; Nishina, M. 2004. Pitaya (Dragon fruit, strawberry pear). Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manôa. Pg 3

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DE MAÍZ BAJO DISTINTAS DENSIDADES DE SIEMBRA EN EL BAJÍO

Aurelio Báez-Pérez[1*]; Eduardo Figueroa Rodríguez[2]; Brian Adolfo Reyes-Cerritos[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Bajío. Km. 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende, localidad de Roque, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato.[2]Tecnológico Nacional de México (TecNM Roque), Km. 8 de la Carretera Celaya-Juventino Rosas, localidad de Roque, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato. *Autor para correspondencia: baez.aurelio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se estableció un experimento con maíz (*Zea Mays* L.) para evaluar su producción y rentabilidad por efecto de tres densidades de siembra: (1) 80,000, (2) 90,000 y (3) 120,000 semillas ha^{-1}. Se sembró el 6 de julio de 2024, en fecha tardía, en el Tecnológico Nacional de México, campus Roque, en Celaya, Guanajuato. La dosis de fertilización fue de 350 unidades ha^{-1}. Se evaluó la floración masculina y femenina, los componentes de rendimiento y algunos parámetros de mazorca como: longitud, diámetro y peso de 1000 granos. Se determinó la relación beneficio/costo por tratamiento. Hubo diferencias significativas ($p<0.05$) en floración masculina y femenina, número de mazorcas por planta, diámetro de tallo, longitud de mazorca, rendimiento de grano e índice de cosecha. Hubo mayor asincronía entre las floraciones masculina y femenina con la población más alta. La producción promedio de grano de 8.6 t ha^{-1}, con la población más alta, y 10.3 t ha^{-1}, con la población más baja. Se observaron correlaciones, de manera inversa, entre los siguientes: parámetros: número de mazorcas $planta^{-1}$ y número de plantas m^2 (R^2=98), número de mazorcas $planta^{-1}$ y número de plantas m^2 (0.95), longitud de mazorca y número de plantas m^{-2} (0.95), diámetro de mazorca y número de plantas m^{-2} (R^2=0.94) y rendimiento de grano y número de plantas m^{-2} (=0.72). La relación beneficio/costo fue 28 % mayor con la densidad der población más baja, alrededor de $ 9,000 más ha^{-1}, con respecto a la más alta. Lo anterior evidencia una mayor rentabilidad en la producción de maíz por el uso racional de insumos agrícolas.

Palabras clave: *Cereales, costos de producción, fertilización*

ABSTRACT

An experiment was established with maize (Zea mays L.) to evaluate its production and profitability under three planting densities: (1) 80,000, (2) 90,000, and (3) 120,000 seeds ha^{-1}. Planting took place on July 6, 2024, a late planting date, at the National Technological Institute of Mexico, Roque Campus, in Celaya, Guanajuato. The fertilization rate was 350 units ha^{-1}. Male and female flowering, yield components, and ear parameters such as length, diameter, and 1000-kernel weight were evaluated. The benefit/cost ratio was determined for each treatment. Significant differences ($p<0.05$) were found in male and female flowering, number of ears per plant,

stalk diameter, ear length, grain yield, and harvest index. The greatest asynchrony between male and female flowering was observed with the highest seed population. The average grain yield was 8.6 t ha-1 with the highest population density and 10.3 t ha^{-1} with the lowest. Inverse correlations were observed between the following parameters: number of ears per $plant^{-1}$ and number of plants m^{-2} (R^2=98), number of ears per plant-1 and number of plants m-2 (0.95), ear length and number of plants m-2 (0.95), ear diameter and number of plants m^{-2} (R^2=0.94), and grain yield and number of plants m^{-2} (=0.72). The benefit/cost ratio was 28 % higher with the lowest population density, approximately $9,000 more ha^{-1}, compared to the highest. This demonstrates greater profitability in maize production due to the rational use of agricultural inputs.

Keywords: *Cereals, production costs, fertilization*

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) representa en la actualidad uno de los pilares de la seguridad alimentaria global, pues la superficie cultivada aumentó a nivel mundial de 187 millones de hectáreas en 2016 a más de 206 millones en los últimos años, impulsada por su demanda multisectorial (FAO, 2024). México es considerado el centro de origen de esta especie cultivada (Boegue, 2009), donde existe una gran diversidad de razas, algunas de las cuales ha sido la base del mejoramiento genético que ha derivado en diversos híbridos comerciales de la actualidad (Márquez-Sánchez, 2009). Entre las regiones más productivas en la zona centro del país destaca el Bajío, donde los sistemas de riego y temporal coexisten con rendimientos que oscilan entre 1.5 y 8.3 t ha^{-1}, en promedio, según condiciones agroclimáticas y manejo agronómico (Rangel-Lucio *et al.,* 2024). En la actualidad, la rentabilidad en la producción de este cereal en México enfrenta desafíos críticos para su cultivo: los costos de producción pueden superar el 70 % en fertilizantes químicos bajo temporal, mientras que, en sistemas de irrigación, entre semilla y fertilizantes constituye 58.8 % de los costos totales de producción. Aunado al bajo precio de comercialización del grano en el mercado, el margen de ganancia es estrecho para los productores, lo que limita la competitividad (Ortiz *et al.,* 2014). Las recomendaciones de casas comerciales de insumos agrícolas generalmente promueven el uso en exceso, tanto de semilla, como de fertilizantes; sin embargo, para el agricultor es importante encontrar un equilibrio en la inversión de estos insumos, con base en las condiciones edáficas, climáticas y de manejo agronómico de sus sistemas de producción, para logra un mayor margen de ganancia. Algunos aspectos a considerar son: conocer el potencial real de rendimiento; efectuar un análisis del suelo para conocer sus reservas disponibles para la nutrición del cultivo y complementar con fertilizantes químicos sólo lo que requiere el cultivo, con base en su potencial de producción; no aplicar insumos que no sean necesarios; establecer una densidad de siembra adecuada, que para el estado de Guanajuato se recomiendan entre 80,000 y 100,000 semillas ha^{-1} para asegurar una población entre 70,000 y 90,000 pantas ha^{-1}, considerando que el porcentaje de germinación pueda ser inferior a 90 % (Pons-Hernández *et al*., 2013).

La densidad de población puede considerarse como un parámetro estratégico para optimizar la densidad de siembra. García-López y Alonso-Hernández (2023) señalan en un estudio que, altas poblaciones (150,000 plantas ha^{-1}) abaten e rendimiento de grano y elevan considerablemente el costo de producción, porque ello implica sembrar cerca de tres sacos de semilla ha^{-1}, considerando un máximo de germinación de 90 %. Es necesario buscar un equilibrio entre densidad de población y máximo rendimiento de grano, que es equivalente a productividad y eficiencia económica, que requiere de un análisis integral. Mientras densidades de 100,000 plantas ha^{-1} muestran mayor cobertura foliar y biomasa, su relación beneficio-costo se ve comprometida por el aumento exponencial en demanda de fertilizantes y agua. La optimización de este parámetro agronómico se posiciona como herramienta clave para reconciliar la sostenibilidad productiva con las presiones económicas de los agricultores del Bajío (Quiroz-Mercado *et al.,* 2017). El propósito del presente estudio fue evaluar la producción y rentabilidad del maíz con tres dosis crecientes de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en el Tecnológico Nacional de México, *campus* Roque, Celaya, Guanajuato, el cual se ubica a los 20.58343134772042 LN y -100.82804467089922 LO, a una altitud de 1767 m (Figura 1). El clima de la región según García (1984) es semicálido seco BS1hw (W)(e)q. La temperatura media anual es de 20.6 ^{o}C, y la precipitación pluvial media anual es de 597 mm. El tipo de suelo correspondió, según la clasificación de la USDA, a un *Vertisol pelico*, el cuál es representativo de la región Bajío.

El suelo de la parcela experimental fue del tipo *Vertisol pelico*: obscuro, profundo (> 1 m), de clase textural arcillosa, con mediano contenido de materia orgánica. El pH fue alcalino, con un contenido de alrededor 45% de arcilla, 21% de limo y 34% de arena; alto contenido de P, K, Ca, y una capacidad de intercambio catiónico de 26.1 $Cmol(+)kg^{-1}$ de suelo.

Se estableció un experimento con tres densidades de siembra en primavera-verano de 2024 : 80 000, 90 000 y 120 000 plantas por hectárea. El ensayo se estableció en franjas aleatorizadas. El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones. La comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de α=0.05. Las unidades experimentales fuero de 4 surcos de 0.75 m de ancho por 75 m de longitud (225 m2). Las unidades de muestreo en la parte alta, media y baja a favor de la pendiente constó de dos surcos centrales por 5 m de longitud (7.5 m2).

Previo al establecimiento del experimento se preparó el terreno el primero de julio de 2024. El 2 de julio se sembró maíz, variedad “Ares” de la empresa UNISEM en surcos de 0.75 m de ancho y al mismo tiempo se aplicó la primera fertilización con urea: sólo un tercio de las 350 unidades por hectárea que se aplicaron en total. Al día siguiente se regó la parcela con agua de pozo mediante un sistema de distribución en surcos de manera rodada. La emergencia de las plantas ocurrió el 11de julio. Se efectuaron deshierbes manuales el 12 julio y 2 de agosto. Posteriormente el 8 de agosto se efectuó la segunda fertilización y el tractor levantó el surco para tapar el fertilizante, eliminar malezas y airear el terreno de cultivo. El 18 de agosto se aplicó para control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) Diazinon 25CE (Diazinon dietil isopropil metil pirimidin fosforotiato) a razón de 1 L ha^{-1}. Después el 23 de agosto se aplicó de nuevo para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) el insecticida Perseo (Clorantraniliprol) a razón 250 mL ha^{-1}. El 3 de septiembre se aplicó la tercera fertilización química con urea, previo a la floración del cultivo. El 17/8/2024 hicimos muestreo de en general de deficiencias en el maíz si teníamos problemas con el suelo o si el cultivo presentaba alguna plaga. Detectamos presencia de cogollero en fase inicial. El 24/8/2024 se efectuó un muestreo de sanidad para averiguar si el control de gusano cogollero. El 6/9/2024 se delimitaron los tratamientos para el conteo de floración.

Variables evaluadas.

Temperatura y precipitación: Se registraron datos diarios de temperaturas máximas y mínimas, así como la precipitación, mediante una estación meteorológica automatizada tipo Davies 6152 VANTAGE PRO2. A partir de los datos obtenidos durante 2024 se construirá el diagrama ombrotérmico correspondiente al sitio de estudios.

Velocidad de floración masculina y femenina: Se contabilizó la velocidad de las floraciones femenina, emisión de estigmas (pelitos del elote), y masculina (emisión de espigas), desde que inició hasta que concluyó, para evaluar el efecto que hubo por la competencia entre plantas en los distintos tratamientos. La contabilización de las floraciones se efectuó diariamente desde que iniciaron, en seis submuestras por unidad experimental: dos en la parte alta, don en la parte media y dos en la parte baja. Se efectuaron 18 evaluaciones. Los resultados fueron expresaron en términos porcentuales.

Componentes de rendimiento: Se evaluó la población de plantas, altura de planta, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de granos por mazorca, peso de mil granos, diámetro de tallo, rendimiento de grano, biomasa aérea e índice de cosecha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperaturas máximas y mínimas y precipitación. El año 2024 fue seco y extremadamente caluroso, las temperaturas máximas extremas alcanzaron los 40 °C durante el mes de mayo, mientras que las temperaturas mínimas extremas alcanzaron 2.4 °C en diciembre. La precipitación anual fue de mm distribuida principalmente de junio a septiembre. Hubo dos lluvias ocasionales los días 16 y 17 de febrero, que sumaron 14.2 mm, y una lluvia extraordinaria de más de 41 mm que cayó el 30 de noviembre (Figura 1). La temperatura media mensual más alta fue en mayo, con 26.6 °C, el mes más caluroso del año (Figura 2). La temperatura media anual fue de 21.4 °C, es decir, 0.8 °C por encima de promedio mensual para la región (García, 1984). Por otra parte, 84.5 % de la precipitación (328.1 mm) cayó entre junio y septiembre. El volumen de precipitación en 2024 estuvo muy por debajo del promedio mensual de la región, que es de 597 mm (García, 1984). Aunado a las altas temperaturas que hubo, principalmente en primavera-verano, el año fue difícil para los cultivos de temporal (Figura 5).

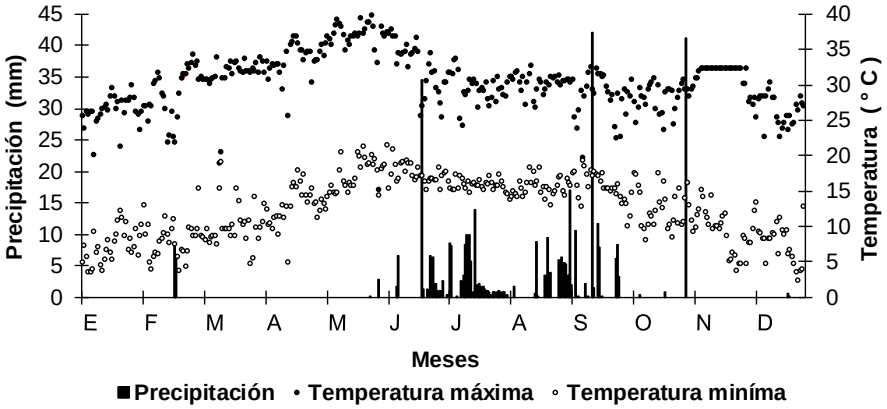


Figura 1. Distribución de temperaturas máximas, mínimas y precipitación durante 2024. Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. Celaya, Guanajuato.

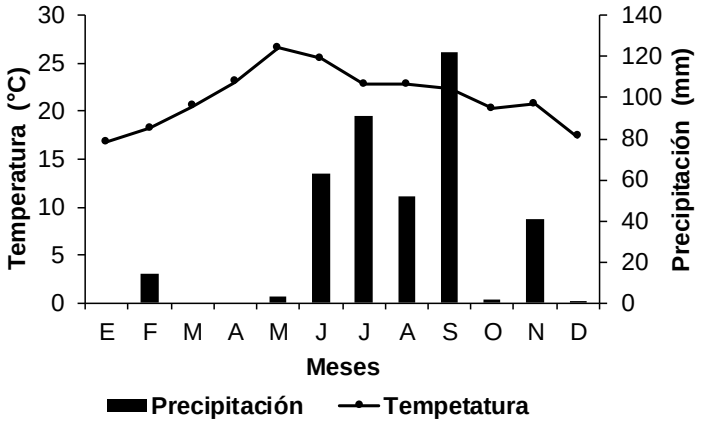


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio.

Floración masculina y femenina. La evolución de la floración masculina y femenina en los tratamientos evaluados mostraron diferencias significativas ($p<0.05$) por efecto de la densidad de población. Se observó que

a medida que aumentó la densidad de población, ambas floraciones se fueron atrasando, y viceversa, fue más veloz en donde hubo menor población de plantas. Puede apreciarse la asincrónica que hubo entre floración masculina y femenina a medida que aumentó la competencia entre plantas (Figuras 3 y 4). Lo anterior pude afectar la polinización y puede reflejarse en el rendimiento de grano. Estudios de floración masculina y femenina en maíz en poblaciones inferiores a 80,000 plantas ha^{-1}, señalan que no hay diferencias significativas (Tadeo-Robles *et al*., 2020); sin embargo, poblaciones de 130,000 platas ha^{-1}, pueden ocasionar asincrónia entre la floración masculina y femenina (Lashkari *et al*., 2011).

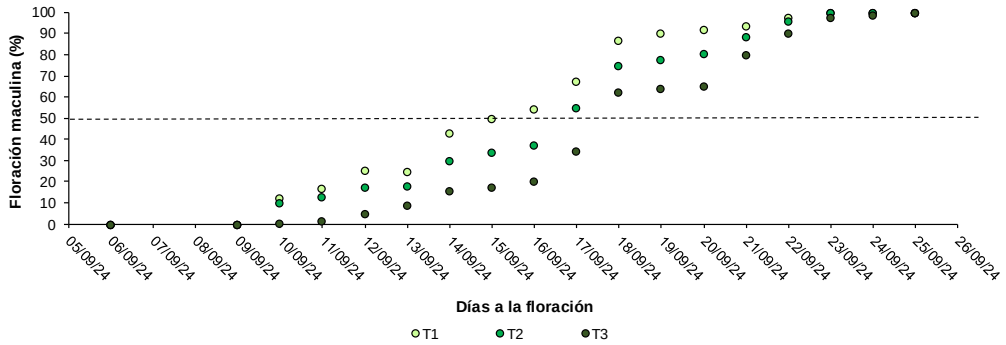


Figura 3. Evolución de la floración masculina en tres densidades de siembra.

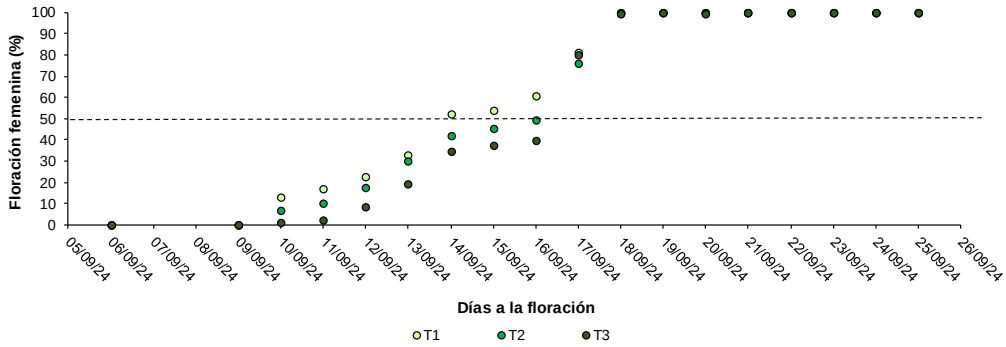


Figura 4. Evolución de la floración femenina en tres densidades de siembra.

Componentes de rendimiento. Los resultados de los componentes de rendimiento de maíz por efecto de las densidades de población se presentan en el Cuadro 10. Hubo diferencias significativas ($P<0.05$) por efecto de los tratamientos en los siguientes parámetros agronómicos: población de plantas, número de mazorcas planta^{-1}, longitud de mazorca y densidad aparente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de componentes de rendimiento de maíz

P siembra	Número			D tallo	L	D	Mil granos	Peso grano	Biomasa aérea	IC
	P	M	M/P		M					
ha^{-1}	m^2			cm			g	t ha^{-1}		
120,000	10.8b*	9.0a	0.84b	1.1a	14.2b	4.5a	267.2a	8.6b	23.2a	0.37b

90,000	8.2ª	8.0a	0.99ab	1.4a	15.3ab	4.7a	288.4a	9.0a	20.2a	0.44a
80,000	7.3ª	7.8a	1.06a	1.4a	16.1a	4.7a	282.5a	10.3a	23.2a	0.44a

IC: índice de cosecha, M: mazorca, P: plantas, **ρ:** densidad D: diámetro. *: letras iguales son estadísticamente semejantes ($p<0.05$).

Población de plantas y número de mazorcas. La población promedio, en los tratamientos evaluados (1 al 3), fue de 73,000, 82,000 y 108,000 plantas ha^{-1}, respectivamente. Es decir 10 % menor a la densidad de siembra, lo cual se explica porque la semilla comercial tiene 90 % de germinación. La población más alta fue significativamente mayor, con respecto a los otros dos tratamientos; sin embargo, en el parámetro número de mazorcas ha^{-1} no hubo diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre tratamientos, a pesar que con la densidad de población más alta hubo 90,000 mazorcas ha^{-1}, en contraste con las 78,000 mazorcas ha^{-1} que hubo con la densidad de población más baja, y de que la relación entre ambas variables fue muy estrecha ($R^2=0.99$). Lo anterior se explica porque el coeficiente de variación fue un poco más alto para el parámetro número de mazorcas (16.1 %) con respecto al que hubo con el número de plantas (12.6 %).

Número de mazorcas por planta. En este parámetro hubo diferencias significativas ($p<0.05$) en el ANAVA por efecto de los tratamientos. El número de mazorcas ha^{-1} fue diferencial al número de plantas ha^{-1}. Se observó una tendencia inversamente proporción entre el número de mazorcas por planta, como variable dependiente de número de plantas m^{-2}. Es decir que a mayor población menor emisión de mazorcas y viceversa.

Diámetro de tallo. El parámetro diámetro de tallo fue estadísticamente semejante ($p<0.05$) entre tratamientos; sin embargo, hubo una tendencia a disminuir a medida que aumentó densidad de población ($R^2=0.95$), lo que reflejó claramente el efecto que hubo en función de las dosis de siembra. Con 108,000 plantas ha^{-1} el diámetro promedio de tallo fue 21.4 % menor con respecto a los otros dos tratamientos (Cuadro 1). Lo anterior se explica por la alta competencia que hubo entre plantas, tanto por luz, como por nutrimentos. Es importante destacarlo, porque al final se reflejará en el rendimiento de grano, como se explicará más adelante.

Parámetros de mazorca. Los parámetros de mazorca correspondientes a diámetro, longitud, y peso de mil granos se presentan en el Cuadro 10. Solamente hubo diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) en el primero. Ello es importante porque implicó un mayor número de granos por mazorca. Se observó que, en promedio el peso de mil granos fue menor con la mayor densidad de siembra. Por otra parte, hubo una tendencia inversamente proporcional entre la longitud y diámetro de mazorcas, como variables dependientes, en función del número de plantas m^{-2} ($R^2=0.95$ y $R^2=0.94$, respectivamente).

Rendimiento de grano. La producción de maíz mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos (Cuadro 10). La producción promedio fue entre 8.6 t ha^{-1}, con la densidad de siembra más alta, y 10.3 t ha^{-1} con la densidad de población más baja. El coeficiente de variación experimental fue de 14.3 %, lo que es normal

para experimentos en condiciones de campo. Con la densidad de siembra más baja se observó una mediana correlación inversa, con tendencia estadística potencial, entre el rendimiento de grano, como variable dependiente del número de plantas m^{-2} (R^2=0.72), sin embargo, el grado de asociación entre ambas variables fue más estrecha (r=0.85)

Biomasa aérea. Los resultados de producción de biomasa aérea no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p<0.05$) (Cuadro 13), la producción promedio de este parámetro fluctuó entre 20.2 y 23.2 t ha^{-1}. La variación experimental fue de 10.3 %.

Índice de cosecha. Los resultados del índice de cosecha mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p<0.05$), éste fluctuó entre 0.37 y 0.44 t ha^{-1}. El valor más bajo se dio con la densidad de población más alta, lo que indicó una mayor producción de paja y menor producción de grano, lo que puede explicarse por la competencia entre plantas. A medida que aumentó el número de plantas disminuyó el índice de cosecha, se observó una relación inversamente proporcional (R^2= 0.94).

Relación beneficio/costo. La rentabilidad en la producción de maíz en las densidades de siembra evaluadas se refleja claramente a través de la relación beneficio costo (RBC) (Cuadro 2). La densidad mayor implicó también un costo de producción mayor, con una RBC de 1.23, la cual obtuvo una rentabilidad 28 % menor a lo obtenido en contraste, con el tratamiento con la densidad de población más baja. En sí el costo de comercialización de maíz fue de $ 5.3 por kg, al finalizar el ciclo primavera-verano de 2024. Lo anterior puede considerarse como bajo; sin embargo, con un uso excesivo de insumos agrícolas en los sistemas de producción la probabilidad de obtener una mejor ganancia es baja. Ante los bajos costos de comercialización en el mercado es prudente hacer un uso racional de los insumos agrícolas para aumentar la probabilidad de obtener un mejor margen de ganancia para el productor. Es de destacar que el tratamiento con la densidad de población más bajas, tuvo una producción 20 % mayor, con respecto a la producción que hubo en el tratamiento con la densidad de población más alta. Ello implicó cerca de $9,000 más de ganancia ha^{-1}. Es importante señalar que, en sí hubo un ahorro, en todos los tratamientos, en la aplicación de fuentes de fertilizante químico de P y K, considerando que el análisis de suelo mostró altas reservas contenidas de estos elementos para la nutrición del cultivo. Por otra parte, es importante destacar que hubo una correlación inversamente proporcional muy estrecha, con una tendencia estadística potencial, entre la relación beneficio costo como variable dependiente de la densidad de siembra. Lo anterior pone en evidencia que ajustando de manera racional el uso de insumos agrícolas, en este caso semilla y fertilizantes se pueden abatir costos de producción y aumentar el margen de ganancia para el productor.

Cuadro 2. Costo de producción por tratamiento y relación beneficio costo.

Labores e insumos	Densidad de siembra		
	80	90	120
	Pesos/hectárea		
Barbecho	2,500	2,500	2,500
Rastra	2,800	2,800	2,800
Nivelada	1,200	1,200	1,200
Surcado	0,600	0,600	0,600
Siembra manual	1,000	1,000	1,000
Semilla	4,550	5,250	7,000
Fertilizante	6,460	6,460	6,460
Riego	2,700	2,700	2,700
Herbicidas	4,800	4,800	4,800
Insecticidas	1,900	1,900	1,900
Peones Aplicar	2,000	2,000	2,000
Cultivadas	0,600	0,600	0,600
Trilla	3,500	3,500	3,500
Costos de producción	34,610	35,310	37,060
Valor de la producción ($ 5.30/kg)	54,590	47,700	45,757
Relación beneficio/costo	1.58	1.35	1.23

CONCLUSIONES

La densidad de siembra de 80,000 semilla ha^{-1}, tuvo una población de 73,000 plantas ha^{-1}, y fue donde hubo el mayor rendimiento de grano, por lo cual fue donde hubo la mayor relación beneficio/costo: 1.58, lo cual fue una rentabilidad 28 % mayor con respecto a la mayor densidad de siembra; el equivalente a cerca de $ 9,000 más por hectárea. Con base en lo anterior se acepta la hipótesis planteada. A pesar de la siembra tardía y el bajo costo del maíz en el mercado (% 5.30 por kg) se logró obtener una rentabilidad mediana con la densidad de siembra más baja. Es necesario tratar de establecer el cultivo en fechas más óptimas de siembra, para tratar de obtener un mayor rendimiento y un mayor margen de ganancia para el productor.

AGRADECIMIENTOS

Al TecNM, Campus Roque, por brindarme las herramientas necesarias para mi formación académica y por ser un espacio de crecimiento personal y profesional. Al INIFAP, Campo Experimental Bajío, por la dirección de la investigación y su valiosa colaboración en el análisis de la información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boegue, E. 2009. Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. Ciencias: 92-93(octubre-marzo):18-28.

Food and Agriculture Organization of de United Nations (FAO). 2024. Statistical Yearbook Word Food and Agriculture.https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d784864f-7f28-49d2-903e-680d09a9d97/content/cd2971en.html.

García, E. 1984. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. pp.16-21.

García-López, D.A. y R. Alonso-Hernández. 2023. Estudio de altas densidades de siembra en la producción de maíz (Zea mays) híbrido. Tecnología en marcha 36(4):160-168.

Lashkari, M., H. Madani, M. Reza-Ardakani, F. Golzardi and, K. Zargari. 2011.Effect of Plant Density on Yield and Yield Components ofDifferent Corn (Zea mays L.) Hybrids. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 10 (3): 450-457.

Márquez-Sánchez, F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II: la hibridación. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 6(2):161-176.

Ortiz, F. C., Ortíz, M. T. G., Enríquez, E. A., Elos, M. M., & Guevara, L. P. 2014. Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. Ciencia y Tecnol. Agrop. México, 2(1), 9-16.

Pons-Hernández, J.L., A.D. Torreón-Ibarra, R. Paredes-Melesio y T. Medina-Cázares. 2013. Guía para producción de maíz. En: Guía para la producción de maíz, frijol, trigo y sorgo. Mandujano-Bueno, A., R. Paredes-Melesio, M.A. Alamilla-Gómez y J.F. Buenrostro-Rodríguez (Eds.). Libro técnico no. 4. INIFAP, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato. 56 p.

Quiroz-Mercado, Jorge. D. de J. Pérez López, A. González-Huerta, M. Rubí Arriaga, F. Gutiérrez-Rodríguez, J.R.P. Franco Martínez y J.F. Ramírez Dávila. 2017. Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(7):1521-1535.

Rangel-Lucio, J. Antonio, Santacruz-Varela, Amalio, Córdova-Téllez, Leobigildo, García-Rodríguez, J. Guadalupe, Cervantes-Ortíz, Francisco, Vaquera-Huerta, Humberto, & Cuenca-Salgado, Jesús Alberto. (2021). Adaptación y selección de maíces nativos en la región del Bajío de México por su caracterización morfológica. Revista fitotecnia mexicana, 44(2), 241-250. Epub 09 de octubre de 2023.https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.241

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE FRESA (*Fragaria x ananassa*) BAJO DIFERENTES ESPECTROS DE LUZ LED

Erick Carmona-Martínez [1*]; Dulce A Guarnero-López [1]; Genaro Pérez-Jiménez [2]; Gabriela Briones-Herrera[1]

[1]Instituto de Educación Digital del Estado de Puebla, Camino a Texocuigtic S/N, 73720 Ixtacamaxtitlán, Pue.[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental San Martinito, Santa Rita Tlahuapan, Carretera Federal México-Puebla Km 56.5, CP 74100. * Autor de correspondencia carmonamartinezerick@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio evaluó la respuesta fisiológica y productiva del cultivo de fresa (*Fragaria* × *ananassa*) bajo diferentes espectros de luz LED en condiciones controladas. El experimento se estableció mediante un diseño completamente al azar con 16 unidades experimentales, aplicando tratamientos de luz azul (LA), verde (LV), combinación azul + roja (LAR) y verde + roja (LVR). Se analizaron variables clave como área foliar, longitud y volumen de raíz, y peso de planta, con el fin de determinar la influencia de la calidad lumínica en el desarrollo morfofisiológico del cultivo. El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), evidenciando que la calidad espectral de la luz influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de hasta 0.96 en algunas variables y coeficientes de variación bajos (4.3–10.21%), lo que indica una adecuada precisión experimental. Los resultados de la prueba de Tukey indicaron que el tratamiento LAR (luz azul + roja) promovió el mayor desarrollo de área foliar, lo que sugiere una mayor capacidad fotosintética. En el sistema radical, el tratamiento LA (luz azul) presentó los valores más altos en longitud y volumen de raíz, indicando mayor eficiencia en la exploración y absorción de agua y nutrientes. Por su parte, el tratamiento LVR (luz verde + roja) mostró el mayor peso de planta, reflejando una mayor acumulación de biomasa.

Palabras clave: *Iluminación LED, morfofisiología, área foliar, Tukey, fotosintética, biomasa, ANOVA*

ABSTRACT

This study evaluated the physiological and productive response of strawberry (Fragaria × ananassa) under different LED light spectra in controlled conditions. The experiment was established using a completely randomized design with 16 experimental units, where four light treatments were applied: blue (LA), green (LV), blue + red (LAR), and green + red (LVR). Key variables analyzed included leaf area, root length, root volume, and plant weight, in order to determine the influence of light quality on the morphophysiological development of the crop. The analysis of variance (ANOVA) revealed significant differences among treatments ($p \leq 0.05$),

demonstrating that spectral light quality directly affects plant growth and development. The model showed coefficients of determination (R^2) up to 0.96 and low coefficients of variation (4.3–10.21%), indicating adequate experimental precision. Mean comparison using Tukey's test indicated that the LAR treatment (blue + red light) produced the highest leaf area, suggesting greater photosynthetic capacity. In the root system, the LA treatment (blue light) showed the highest values for root length and volume, indicating improved water and nutrient uptake capacity. Meanwhile, the LVR treatment (green + red light) resulted in the highest plant weight, reflecting greater biomass accumulation.

Keywords: *LED lighting, morphophysiology, leaf area, Tukey, photosynthetic, biomass, ANOVA*

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de las plantas está influenciado por diversos factores ambientales, entre los que la luz desempeña un papel fundamental (Gonzalías, 2016). Las especies vegetales tienen la capacidad de responder de forma diferente a la calidad de luz, entendida como el color o la longitud de onda e intensidad, es decir, la densidad de flujo de fotones o la irradiancia, y una combinación de ambos (Blanco, 2019). La luz LED permite ajustar longitudes de onda específicas, principalmente en los rangos rojo y azul, los cuales están directamente relacionados con procesos fisiológicos en las plantas. La luz roja favorece la elongación y el crecimiento vegetativo, mientras que la luz azul está asociada con la formación de hojas, apertura estomática y regulación del desarrollo morfológico (Flores, 2021).

El área foliar es un indicador directo de la capacidad fotosintética, mientras que variables como el volumen y la longitud de raíz reflejan la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes. La manipulación del ambiente lumínico mediante tecnología LED puede modificar estas variables, permitiendo optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas bajo condiciones controladas (Fan et al., 2013).

Diversos estudios han reportado que la aplicación de diferentes combinaciones de luz LED genera respuestas diferenciadas en el crecimiento vegetal; sin embargo, estas respuestas dependen del cultivo, la intensidad lumínica y la proporción de espectros utilizados. Por lo tanto, es necesario evaluar el efecto de distintas condiciones de iluminación sobre variables de crecimiento para identificar las combinaciones más eficientes. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos de luz LED en cultivo de fresa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo experimental San Martinito, (CESMAR), localizado en el municipio de Santa Rita Tlahuapan, Puebla. Se utilizaron plantas de fresa de la variedad frontera (*Fragaria x ananassa*), de segundo ciclo productivo a una corona, establecidas en charolas de aluminio con piedra pomex como sustrato a una densidad de 14 plantas por metro lineal.

Se elaboraron cámaras independientes por tratamiento de luz, que se iluminaron con focos de luz LED de marca AKSI® de 4 W, en espectros de color azul, rojo y verde. El fotoperiodo se mantuvo en 12 horas luz en tiempo nocturno durante cinco meses, programado por un temporizador de la marca VOLTECK®. Se calculó el flujo lumínico con un luxómetro (Steren® HER- 408). La intensidad fue constante durante todo el experimento. El diseño experimental fue completamente al azar, se evaluaron cuatro tratamientos de iluminación LED, establecidos de la siguiente manera: luz azul (LA) donde se obtuvo 76.5 Lu m^{-2}, luz verde (LV) 41.2 Lu m^{-2}, combinación azul + rojo (LAR) 21.3 Lu m^{-2} y combinación verde + rojo (LVR)16.2 Lu m^{-2} (figura). Las fuentes de luz se instalaron de manera uniforme sobre el dosel de las plantas con divisiones de nailon negro de polietileno, garantizando una distribución uniforme de radiación y evitando mezclas entre longitudes de onda. La temperatura dentro del área experimental se midió con un DataLogeer marca ELITECH®, donde se mantuvo constante entre 24°C±3, considerando fenómenos climáticos que ocurrieron cuando la temperatura descendió a -1, -3, -4,-7°C.

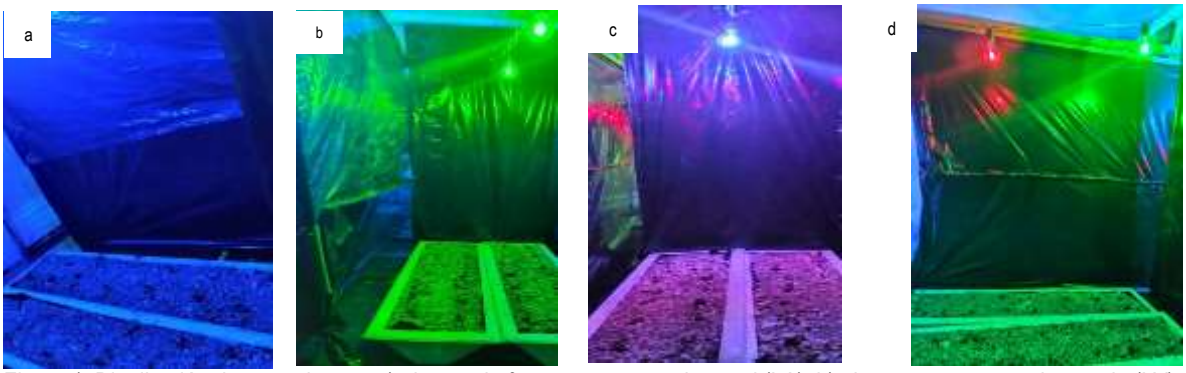


Figura 1. Distribución de tratamientos, a) plantas de fresa expuestas a luz azul (LA), b) plantas expuestas a luz verde (LV), c) plantas expuestas a luz azul+ rojo (LAR), d) plantas expuestas a luz verde + rojo (LVR). Fuente: elaboración propia.

El manejo nutricional de las plantas de fresa se llevó a cabo utilizando una solución nutritiva elaborada conforme al modelo Steiner al 20 %. Con un PH-metro de marca PHMETER®, se obtuvieron parámetros de pH entre 5.5 y 6.5 y la conductividad eléctrica entre 1.5 y 2.5 dS m^{-2}. Para la preparación, se emplearon 20 litros de agua como base, asegurando que la mezcla estuviera correctamente disuelta y homogénea antes de su aplicación. El riego se realizó de manera controlada, aplicando 50 mL de la solución nutritiva por planta. Este método permitió mantener una adecuada disponibilidad de humedad en la zona radicular, favoreciendo la absorción de

nutrientes y evitando el exceso de agua que pudiera afectar el desarrollo del cultivo. El plan de nutrición fue distribuido como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Fertilización en el cultivo de fresa: dosis, etapas fenológicas y número de aplicaciones.

Fertilizante	Fórmula	Marca	Cantidad	Etapa	Aplicación
Kapilar®	Acido 4-indol-3-butrico 125 ppm 1-(2-cloro-4-piridil)-3-fenilurea 50 ppm Tecnología Liebig Science®	Liebig Science®	20 mL	Trasplante	2
Fulvato®	Ácidos húmicos	Liebig Science®	10 mL	Trasplante	2
Nitrato de calcio	$Ca(N0_3)_24H_2O$	Compoexpert®	15.92 g	Desarrollo	5
Fosfato mono potásico	KH_2PO_4	ISAOSA ®	2.04 g	Desarrollo	5
Nitrato de potasio	$KN0_3$	ISAOSA ®	4.545 g	Desarrollo	5
Sulfato de magnesio	$MgSO_47H_2O$	ISAOSA ®	7.38 g	Desarrollo	5

La evaluación de la respuesta a los tratamientos fue después de cinco meses del trasplante, y las variables que se determinaron fueron área foliar, que se determinó con la seleccionaron de manera aleatoria cinco plantas para su estudio. El proceso de medición se realizó mediante un análisis digital de imágenes. Se tomaron fotografías de las plantas seleccionadas y dichas imágenes fueron procesadas utilizando el software ImageJ®. Durante el procesamiento, se incluyó una escala de referencia, lo que permitió convertir las dimensiones en píxeles a medidas de superficie reales, expresadas en centímetros cuadrados (cm^2).

Además, se consideró el volumen de raíz, para ello, se utilizaron las mismas plantas previamente seleccionadas en el análisis del área foliar. El procedimiento consistió en sumergir cada planta en una probeta con una cantidad de agua previamente medida (100 mL), asegurando que las raíces llegaran hasta el fondo. Se registró la diferencia en el volumen de agua para determinar el peso volumétrico radicular de cada muestra.

Se determinó la longitud de raíz, desde el punto donde empieza a la corona hasta las raíces como mayor densidad. También se consideró el peso fresco de cada plántula puesta en evaluación. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software InfoStat, y sometidos a un análisis de varianza y donde se mostraron diferencias significativas se realizó una prueba de comparación de medias por Tukey, todo con el mismo paquete estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró que la calidad espectral de la luz LED tuvo un efecto significativo sobre todas las variables evaluadas, evidenciando su papel como regulador del crecimiento y desarrollo morfofisiológico del cultivo de fresa. El área foliar presentó un efecto altamente significativo ($p<0.0001$), lo que confirma que la calidad espectral de la luz influye directamente en la expansión del tejido fotosintético.

En cuanto al sistema radical, la longitud de raíz y el volumen de raíz mostraron efectos significativos ($p<0.0001$ y $p = 0.0079$, respectivamente), evidenciando una alta sensibilidad del sistema radicular a la calidad de luz. Estudios previos han demostrado que la elongación radicular está estrechamente relacionada con la redistribución de auxinas y foto asimilados desde la parte aérea hacia la raíz, proceso que es modulado por señales lumínicas.

El peso de planta también presentó diferencias significativas ($p = 0.0091$), lo que indica que los tratamientos de luz LED influyen en la acumulación de biomasa. Esta variable integra múltiples procesos fisiológicos, incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la partición de foto asimilados. Los valores de coeficiente de determinación ($R^2 = 0.60–0.96$) indican un buen ajuste del modelo, mientras que los coeficientes de variación (CV = 4.3–10.21%) reflejan una adecuada precisión experimental (Cuadro 2).

Cuadro 2. ANAVA de variables fisiológicas en fresa bajo luz LED.

	Media	Tratamiento	Error	R^2	CV (%)
	Cuadrados medios				
Area foliar	241.27	9305.47 **	101.78	0.96	4.3
Volumen raiz	107.31	16.75 **	2.63	0.61	1.51
Longitud Raiz	16.06	42.43 **	1.08	0.91	6.5
Peso planta	14.06	12.50 **	2.04	0.6	10.21

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$), ** = Diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), ns = No existe diferencia significativa estadística ($P \geq 0.05$), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad.

La comparación de medias mediante la prueba de Tukey evidenció diferencias significativas entre tratamientos en todas las variables evaluadas. El tratamiento 2 LAR presentó el mayor valor de área foliar, diferenciándose estadísticamente del resto, lo que indica una mayor expansión del área fotosintética bajo este espectro de luz (Cuadro 3). El área foliar representa la superficie fotosintéticamente activa de la planta y está directamente relacionada con la capacidad de interceptación de radiación y fijación de carbono. Este parámetro es altamente sensible a la calidad de luz, particularmente a los espectros azul y rojo, los cuales activan fotorreceptores como criptocromos y fitocromos, responsables de regular la expansión celular y el desarrollo foliar (Hogewoning et al., 2010; Ouzounis et al.,2015).

Este comportamiento ha sido reportado en cultivos hortícolas bajo iluminación LED, donde combinaciones de luz azul y roja favorecen el crecimiento vegetativo y la acumulación de biomasa, como lo documentan Paradiso y Proietti (2022) en sistemas de producción bajo ambiente controlado.

Este comportamiento puede explicarse por la acción de fotorreceptores como fitocromos y criptocromos, los cuales regulan la expresión génica relacionada con la división y expansión celular en hojas. La luz azul favorece la apertura estomática y la actividad fotosintética, mientras que la luz roja interviene en la elongación celular y la acumulación de biomasa, lo que en conjunto promueve una mayor superficie foliar. Por ello, el tratamiento 2

LAR presentó los valores más altos, indicando una mayor capacidad de interceptación de radiación y fijación de carbono. Estos resultados coinciden con lo reportado por Ouzounis et al. (2015) y Bantis et al. (2018), quienes documentaron que combinaciones de luz roja y azul incrementan significativamente el desarrollo foliar en cultivos hortícolas específicamente, en lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en ambiente controlado.

Los resultados de la evaluación del sistema radicular mostraron que el tratamiento 4LA obtuvo los mayores valores en volumen y longitud de raíz, el crecimiento está determinado por la redistribución de auxinas y foto asimilados hacia la raíz, procesos que pueden ser modulados por la calidad de luz, influyendo en la elongación celular y en la capacidad de exploración del sustrato (Chen et al., 2004; Bantis et al., 2018). La expansión radicular refleja la capacidad total del sistema radicular para la absorción de agua y nutrientes, integrando procesos de elongación, ramificación y engrosamiento de raíces. Este parámetro depende de la disponibilidad de foto-asimilados generados en la parte aérea, los cuales son influenciados por la eficiencia fotosintética bajo diferentes espectros de luz (Paradiso y Proietti, 2022).

El peso de planta corresponde a la acumulación total de biomasa y representa la integración de procesos fisiológicos como la fotosíntesis, respiración y partición de asimilados. La calidad de luz, especialmente en los espectros rojo y azul, influye en la eficiencia fotosintética y en la síntesis de compuestos orgánicos, determinando el crecimiento y desarrollo general de la planta (Ouzounis et al.,2015; Bantis et al., 2018). En los resultados de peso por planta el tratamiento 1LVR presentó los valores más altos en comparación a los otros tratamientos, evidenciando una mayor acumulación de biomasa.

De lo anterior, los resultados confirman que la manipulación espectral de la luz LED induce respuestas diferenciadas en el crecimiento foliar, desarrollo radicular y acumulación de biomasa en plantas de fresa, destacando su potencial como herramienta para optimizar sistemas de producción en ambientes controlados lo cual coincide con estudios recientes que destacan el uso de iluminación LED como una herramienta eficiente para la manipulación del crecimiento vegetal en sistemas controlados (Kim y Kang, 2025).

Cuadro 3. Efectos de los tratamientos de luz LED en plantas de fresa (comparación de medias por Tukey, p ≤0.05).

Tratamiento	Area foliar	Volumen raiz	Longitud raiz	Peso planta
1LVR	173.46 d	105.50 b	14.00 bc	16.25 a
2LAR	289.20 a	107.25 ab	13.25 c	14.25 ab
3LV	227.56 c	106.50 b	16.13 b	13.50 ab
4LA	249.13 b	110.25 a	20.50 a	12.00 b
DMS*	21.18	3.4	2.18	3

Tukey*: diferencia honesta significativa; medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (p α 0.05); LVR: luz verde con roja; LAR: luz azul con roja; LV: luz verde; LA: luz azul.

CONCLUSIONES

La calidad espectral de la luz LED influyó de manera significativa en el crecimiento y desarrollo morfofisiológico del cultivo de fresa (*Fragaria* × *ananassa*), evidenciando respuestas diferenciadas en función del espectro aplicado. El área foliar se consolidó como la variable sensible, destacando el tratamiento 2LAR (luz azul + roja), el cual promovió una mayor expansión del tejido fotosintético, lo que sugiere una mayor eficiencia en la captación de radiación y en la fijación de carbono.

En el sistema radicular, el tratamiento 4LA (luz azul) indujo los mayores valores en longitud y volumen de raíz, lo que refleja una mayor capacidad de exploración del sustrato y potencial de absorción de agua y nutrientes. Este comportamiento evidencia la influencia de la calidad de luz en la regulación de procesos fisiológicos asociados al desarrollo radicular.

El peso de planta mostró que plantas dentro del tratamiento 1LVR (luz verde + roja) mostraron mayor acumulación de biomasa, lo que indica una interacción favorable entre estos espectros en la eficiencia fotosintética y la distribución de foto asimilados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por permitir el acceso a sus instalaciones y contribuir en el establecimiento del experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., and Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). Scientia Horticulturae, 235, 437–451. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058

Blanco, F. F. (2019). Efecto de la calidad de luz en el crecimiento vegetal. Revista de Ciencias Agrarias, 36(2), 123–135.

Chen, M., Chory, J., and Fankhauser, C. (2004). Light signal transduction in higher plants. Annual Review of Genetics, 38, 87–117. https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092259.

Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., and Han, X. L. (2013). Effects of light quality on growth and development of plants. Acta Horticulturae, 1004, 321–328. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1004.38.

Flores-Pérez, U. (2021). Influencia de la luz en procesos fisiológicos de plantas cultivadas. Revista Fitotecnia Mexicana, 44(3), 345–356.

Gonzalías, J. (2016). Factores ambientales que influyen en el crecimiento vegetal. Revista Agroecológica, 12(1), 45–52.

Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., and Harbinson, J. (2010). Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. Journal of Experimental Botany, 61(11), 3107–3117. https://doi.org/10.1093/jxb/erq132.

Kim, H. H., and Kang, H. M. (2025). Advances in LED lighting for controlled environment agriculture. Horticulture Research, 12(1), 1–15.

López, R., Runkle, E. W., and Han, R. D. (2020). Light management in controlled environments for crop production. HortScience, 55(9), 145–152.

Ouzounis, T., Rosenqvist, E., and Ottosen, C. O. (2015). Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: A review. HortScience, 50(8), 1128–1135.

Paradiso, R., and Proietti, S. (2022). Light quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture. Agronomy,12(1), 1–20. https://doi.org/10.3390139

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE *Rhizobium* sp. ACO-34A SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE PAPA FIANNA BAJO SALINIDAD INDUCIDA POR NaCl

Sarmiento-Megchum Erick Fabian[1]*; Solís-Zebadúa Stephanie[1]; Rincón-Rosales Reiner[1]; Rincón-Molina Clara Ivette[1]; Manzano-Gómez Luis Alberto[1, 2]; Gen-Jiménez Adriana[1]; Maldonado-Gómez Julio César[1]; Rincón-Molina Francisco Alexander[1]

[1]Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Laboratorio de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa. Carretera Panamericana km 1080, Boulevar, 29050. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. [2]3R Biotec S.A. de C.V., Departamento de Investigación y Desarrollo. Colonia Centro, 233. 29000 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. * Autor de correspondencia: M19270426@tuxtla.tecnm.mx

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo básico cuya productividad se ve limitada por el estrés salino. Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) constituyen una estrategia sostenible para mejorar la tolerancia bajo estas condiciones. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A sobre el crecimiento inicial de papa var. Fianna cultivada en invernadero bajo diferentes concentraciones de NaCl. Se utilizó un diseño factorial 2 × 5, con o sin inoculación y cinco niveles de salinidad, con 14 repeticiones por tratamiento. Los tubérculos se inocularon antes de la siembra y recibieron una biofertilización complementaria a los 15 días después de la siembra. A los 20 días después de la siembra se evaluaron la longitud del tallo, el número de hojas y el diámetro del tallo. La inoculación incrementó significativamente la longitud del tallo y el número de hojas respecto de los tratamientos no inoculados. La longitud del tallo osciló entre 10.71 ± 4.37 y 14.96 ± 2.79 cm, el número de hojas entre 41.57 ± 17.27 y 62.07 ± 16.23 por planta, y el diámetro del tallo entre 0.34 ± 0.09 y 0.45 ± 0.07 cm. La salinidad restringió el diámetro del tallo. Estos resultados indican que *Rhizobium* sp. ACO-34A favorece el crecimiento inicial de papa var. Fianna bajo condiciones de salinidad inducida y respalda su potencial como biofertilizante en sistemas de cultivo con restricciones salinas.

Palabras clave: *Biofertilización, Crecimiento temprano, PGPR, Sostenibilidad agrícola*

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo básico de gran importancia alimentaria y económica, pero altamente sensible al estrés salino, que limita su productividad al inducir desequilibrios iónicos, estrés osmótico y oxidativo, afectando directamente el crecimiento y el rendimiento (FAO, 2025; Kazimierczak et al., 2019). En México, más del 50 % del territorio presenta características áridas o semiáridas y el 64 % de los suelos están afectados por salinización, lo que agrava esta problemática (SADER, 2021). Desde el marco de la biotecnología agrícola, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) representan una estrategia sostenible para mitigar la salinidad mediante producción de fitohormonas, regulación del etileno, solubilización de nutrientes y activación de defensas antioxidantes (Mishra et al., 2021). Además, su capacidad de formar biopelículas y colonizar de manera efectiva la rizósfera favorece una interacción estable con las raíces,

incrementando la disponibilidad de nutrientes y mejorando la tolerancia al estrés abiótico (Jaiswal et al., 2021). En particular, *Rhizobium* sp. ACO-34A, aislada de *Agave americana*, ha demostrado tolerancia a NaCl, producción de auxinas, solubilización de fósforo y efectos positivos en distintos cultivos (De la Torre-Ruiz et al., 2016; García-Pérez et al., 2024). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A sobre parámetros morfométricos tempranos de *Solanum tuberosum* L. var. Fianna bajo diferentes concentraciones de NaCl.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se emplearon tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Fianna, con calibre aproximado de 20 mm de diámetro y estado fisiológico de brotación múltiple. La cepa élite nativa *Rhizobium* sp. ACO-34A, fue obtenida de la colección de cepas del laboratorio 1 de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa (TECNM/ITTG) y reactivada en medio YEM suplementado con Ca^{2+} a temperatura ambiente (22 °C) bajo agitación orbital (140 rpm, 24 h).

El ensayo se realizó en condiciones de invernadero, perteneciente al departamento hortícola del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal, Metepec, Estado de México. Este invernadero se localiza a una latitud de 19° 14' N, longitud de 99° 35' O, cuenta con una superficie de 405 m² y presenta una temperatura promedio de 22 °C (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica del sitio experimental.

Se estableció un diseño factorial completo [2 x 5] con los factores A: inoculación con cepa rizobiana y B: concentración de NaCl, lo que generó un total de 10 tratamientos (Cuadro 1) evaluados con 14 réplicas por tratamiento, distribuidos bajo un diseño completamente aleatorizado. Cada experimento se realizó en macetas de plástico de 2 L, utilizando 1 kg de sustrato compuesto por 50 % de tepojal y 50 % de suelo franco-arenoso proveniente de una cama de siembra del invernadero utilizado previamente analizado bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 y desinfectado con un fungicida sistémico comercial Previcur® Energy.

Para los tratamientos salinos se establecieron cinco concentraciones de NaCl: 0.00, 42.4, 65.7, 88.8 y 109.5 mM, correspondientes a conductividades eléctricas de 0.39, 4.78, 6.41, 8.95 y 10.23 dS/m en solución preparada con agua corriente.. Para los tratamientos con aplicación de la cepa rizobiana, los tubérculos se inocularon mediante inmersión en una suspensión de *Rhizobium* sp. ACO-34A con DO_{600nm}= 1.0. La siembra se realizó con una densidad de un tubérculo por maceta para todos los tratamientos, a una profundidad de 3-5 cm. El riego se realizó de acuerdo a la capacidad de campo del sustrato adecuado para papa (70%) con 500 mL de agua corriente cada 4 días y fertirriego cada 8 días con fertilizante soluble triple 19 enriquecido con micronutrientes Poly-Feed^{Tm}. El manejo fitosanitario incluyó la aplicación foliar del fungicida sistémico Tecto® 60. Se aplicó una primera biofertilización con la cepa rizobiana a los 15 días después de la siembra usando un volumen de 10 mL por maceta ($DO_{600\ nm}$= 1.0) (Sánchez-Bernal et al., 2008; Flores López, López Delgado & Sotelo Ruiz, 2024).

Cuadro 1. Tratamientos del diseño experimental evaluado.

Tratamiento	Combinación
1	A_1B_1: ACO-34A y 0.00 mM NaCl (+)
2	A_1B_2: ACO-34A y 42.4 mM NaCl
3	A_1B_3: ACO-34A y 65.7 mM NaCl
4	A_1B_4: ACO-34A y 88.8 mM NaCl
5	A_1B_5: ACO-34A y 109.5 mM NaCl
6	A_2B_1: SIN INOCULACIÓN y 0.00 mM NaCl (-)
7	A_2B_2: SIN INOCULACIÓN y 42.4 mM NaCl
8	A_2B_3: SIN INOCULACIÓN y 65.7 mM NaCl
9	A_2B_4: SIN INOCULACIÓN y 88.8 mM NaCl
10	A_2B_5: SIN INOCULACIÓN y 109.5 mM NaCl

(+): tratamiento control positivo; (-): tratamiento control negativo.

A los 20 días después de la siembra (dds), se evaluaron la longitud del tallo, el diámetro del tallo y el número total de hojas por planta. Estas variables constituyen indicadores tempranos del vigor vegetativo y permiten analizar la influencia de la inoculación y la salinidad sobre el crecimiento inicial del cultivo.

Los datos se analizaron mediante ANOVA multifactorial (α= 0,05; $P \leq 0.05$), usando el software de Sistema de Análisis Estadístico STATGRAPHICS Centurion versión XVI.I, considerando como factores la inoculación y la concentración de NaCl, así como su interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo analizado mostró textura areno-franca, pH ligeramente alcalino (7.50), y baja densidad aparente (0.87 g/cm³) (Cuadro 2), condiciones que mejoran la infiltración, reducen el riesgo de compactación y favorecen el movimiento de agua y solutos, por su parte los valores elevados de la capacidad de intercambio catiónico indican alta capacidad para retener cationes como K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}, esenciales para la homeostasis iónica en

cultivos sensibles a la salinidad (Brady & Weil, 2016). El alto contenido de fósforo disponible (122 ppm) y nitrógeno total (0.65 %) coloca al suelo dentro de la categoría de alta fertilidad, lo cual contrasta con estudios de papa bajo suelos de menor calidad, donde la respuesta a la inoculación microbiana se ve enmascarada por limitaciones nutricionales. Además, la presencia de materia orgánica (3.33 %) y carbono orgánico (1.93 %) sugiere un ambiente edáfico con buena capacidad de amortiguamiento, condición que puede potenciar la acción de las PGPR al mejorar la disponibilidad de microelementos y facilitar la colonización rizosférica mediante la formación de biopelículas (Sánchez-Bernal et al., 2008; Jaiswal et al., 2021; Ghidawi et al., 2024). Por tanto, la caracterización del suelo realizada evidenció condiciones óptimas de fertilidad y estructura, aunado a ello, la fertilización realizada durante el ciclo de cultivo con una fórmula balanceada (triple 19 con micronutrientes) permitió reforzar la disponibilidad de nutrientes y mantener un adecuado soporte nutricional en cultivos de papa (Koch et al., 2020), lo que permite inferir que las respuestas observadas en la planta se atribuyen principalmente a efectos de la inoculación y al estrés salino, y no posibles deficiencias de nutrientes en el medio edáfico. Estas propiedades convierten al sustrato en un modelo adecuado con potencial para mantener la productividad en cultivos exigentes como papa (Flores López, López Delgado & Sotelo Ruiz, 2024).

Cuadro 2. Análisis de propiedades físicoquímicas y de fertilidad del suelo.

Parámetro	Resultado	Unidad	Interpretación
pH (1:2 suelo/agua)	7.50	U. pH	Medianamente alcalino
Textura	84 arena, 8 limo, 8 arcilla	%	Areno-franco
Densidad aparente	0.87	g/cm³	Suelos orgánicos, buena porosidad
Materia orgánica	3.33	%	Alta
Carbono orgánico	1.93	%	Adecuado
Nitrógeno total	0.65	%	Alto
Fósforo disponible (P_2O_5)	122.03	ppm	Muy alto
Potasio (K)	2956.10	ppm	Muy alto
Calcio (Ca)	3119.86	ppm	Muy alto
Magnesio (Mg)	2928.00	ppm	Muy alto
Sodio (Na)	337.90	ppm	Medio
Capacidad intercambio catiónico (CIC)	48.68	meq/100 g	Alta

En la longitud de tallo (20 dds), el ANOVA mostró efectos significativos del factor inoculación ($p = 0.0443$) y de la interacción inoculación × salinidad ($p = 0.0168$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de las variables longitud de tallo, número de hojas y diámetro de tallo

Variable	Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Longitud de tallo	Cepa (A)	70.0071	1	70.0071	4.13	0.0443
	Salinidad (B)	44.0036	1	44.0036	2.59	0.1098
	A × B	99.6036	1	99.6036	5.87	0.0168
	Error total	2068.81	122	16.9574		
	Total (Corr.)	2498.54	139			

Número de hojas	Cepa (A)	2452.83	1	2452.83	7.28	0.0079
	Salinidad (B)	932.575	1	932.575	2.77	0.0986
	A × B	1272.89	1	1272.89	3.78	0.0542
	Error total	41079.6	122	336.718		
	Total (Corr.)	49021.9	139			
Diámetro de tallo	Cepa (A)	0.03457	1	0.034571	3.31	0.0711
	Salinidad (B)	0.06603	1	0.066036	6.33	0.0132
	A × B	0.03889	1	0.038893	3.73	0.0558
	Error total	1.27243	122	0.01043		
	Total (Corr.)	1.57171	139			

De manera complementaria, en el cuadro 4 se presentan las medias y desviaciones estándar de la longitud del tallo, número de hojas y diámetro de tallo para cada combinación de inoculación y salinidad. La longitud del tallo osciló aproximadamente entre 10.71 ± 4.37 y 14.96 ± 2.79 cm, el número de hojas entre 41.57 ± 17.27 y 62.07 ± 16.23, y el diámetro de tallo entre 0.34 ± 0.09 y 0.45 ± 0.07 cm. Estos valores cuantitativos permiten visualizar de manera clara las diferencias en las medias de los parámetros morfométricos entre tratamientos y sintetizar la respuesta morfométrica temprana del cultivo frente al arreglo factorial evaluado.

Cuadroa 4. Medias de parámetros morfométricos tempranos evaluados en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L. var Fianna)

Tratamiento	Longitud de tallo (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (cm)
T1: A_1B_1	14.82 ± 2.61	60.86 ± 8.57	0.44 ± 0.06
T2: A_1B_2	14.96 ± 2.79	62.07 ± 16.23	0.45 ± 0.07
T3: A_1B_3	12.71 ± 5.39	50.86 ± 21.67	0.36 ± 0.13
T4: A_1B_4	11.82 ± 4.18	51.79 ± 19.66	0.39 ± 0.14
T5: A_1B_5	11.43 ± 4.38	46.21 ± 21.80	0.34 ± 0.10
T6: A_2B_1	11.93 ± 4.38	48.07 ± 17.99	0.37 ± 0.09
T7: A_2B_2	11.21 ± 4.37	42.43 ± 20.83	0.36 ± 0.10
T8: A_2B_3	10.71 ± 4.37	41.57 ± 17.27	0.36 ± 0.08
T9: A_2B_4	12.57 ± 4.80	54.07 ± 19.43	0.39 ± 0.13
T10: A_2B_5	12.25 ± 3.44	43.79 ± 12.82	0.34 ± 0.09

En la figura 2 se muestra la interacción de las plantas inoculadas alcanzaron mayor elongación, especialmente en ausencia de estrés y en concentraciones moderadas de NaCl, mientras que en niveles altos de salinidad ambas líneas de tendencia (inoculadas y no inoculadas) tienden a converger. Este patrón sugiere que la cepa *Rhizobium* sp. ACO-34A contribuye a la elongación temprana del tallo, con una respuesta modulada por el nivel de NaCl aplicado. Estudios previos han demostrado que PGPR productoras de auxinas y citoquininas favorecen la división y expansión celular bajo condiciones salinas, prolongando el crecimiento vegetativo inicial (Mishra et al., 2021). En papa, la inoculación con *Bacillus mojavensis* mejoró la altura de planta y biomasa aérea bajo NaCl, en asociación con una mayor actividad antioxidante y un balance hormonal más favorable (Ghidawi et al., 2024). En conjunto, estos antecedentes indican que el comportamiento observado en este

trabajo es consistente con el marco general de regulación hormonal y antioxidante mediada por PGPR bajo estrés salino.

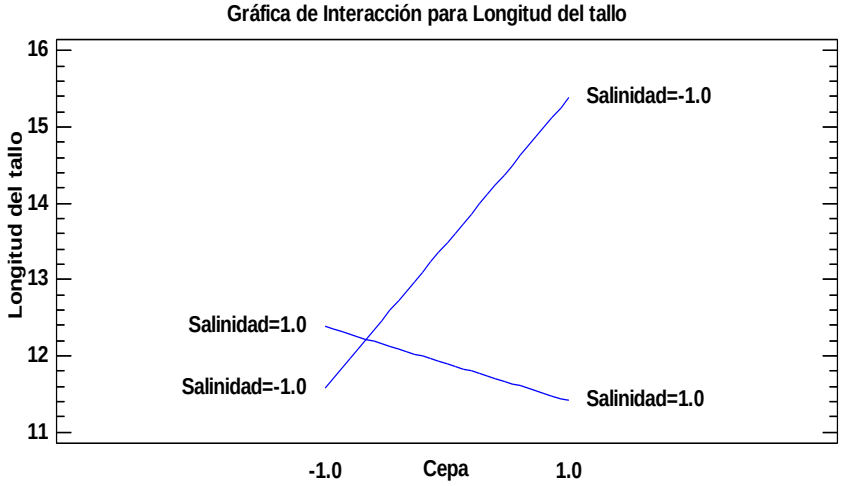


Figura 2. Interacción para la variable de respuesta longitud de tallo.

En el número de hojas (20 dds), la inoculación fue significativa (p = 0.0079), mientras que la interacción mostró una tendencia marginal (p = 0.0542). En la gráfica de interacción (Figura 3) se observa que las plantas inoculadas mantuvieron una ventaja en la formación foliar en casi todos los niveles de NaCl, aunque la brecha se redujo en condiciones de mayor salinidad. Este comportamiento indica que la inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A favorece el desarrollo temprano de la parte foliar de la planta, incrementando el área fotosintética disponible, en concordancia con lo reportado para otras PGPR. Una mayor producción de hojas en etapas tempranas es fundamental para sostener la fotosíntesis y acumular reservas necesarias para el llenado de tubérculos. En otros cultivos como tomate, la inoculación con *Pseudomonas fluorescens* reguló positivamente genes asociados al desarrollo foliar y tolerancia a estrés (Hanifah et al., 2023). En papa, este tipo de respuesta puede asociarse con la mejora en la relación K^+/Na^+ en los tejidos, lo que permite conservar la integridad celular y retrasar la clorosis foliar (Tahir et al., 2019).

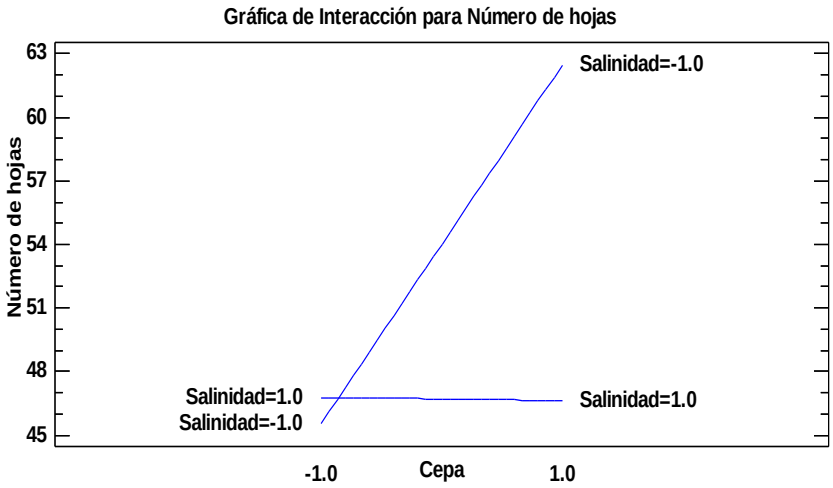


Figura 3. Gráfico de interacción para la variable de respuesta número de hojas

El diámetro de tallo (20 dds) mostró diferencias significativas únicamente por el efecto de la salinidad ($p = 0.0132$). La gráfica de interacción (Figura 4) confirma que, a medida que aumenta la concentración de NaCl, el grosor del tallo disminuye en ambos tratamientos, con diferencias mínimas entre inoculados y no inoculados. Este resultado sugiere que el engrosamiento del tallo es un proceso estructural más tardío, dependiente de la deposición de celulosa y lignina, así como de la expansión radial de células, procesos que son altamente afectados por la acumulación de Na^+ (Shahid et al., 2024). Estudios en papa cv. Alpha evidencian que el aumento de salinidad reduce progresivamente el diámetro del tallo, aun en presencia de fertilización química (Sánchez-Bernal et al., 2008), lo que coincide con los hallazgos de este trabajo.

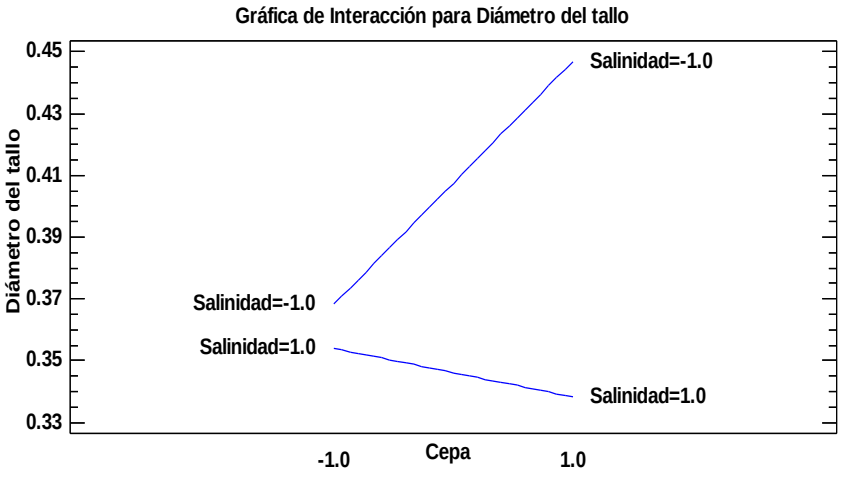


Figura 4. Interacción para la variable de respuesta diámetro de tallo

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que el suelo utilizado presentó fertilidad elevada y condiciones fisicoquímicas favorables, por lo que las respuestas observadas en papa var. Fianna pueden asociarse principalmente con los efectos de la inoculación y la salinidad inducida. La inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A favoreció significativamente la elongación del tallo y la emisión de hojas durante el crecimiento inicial, especialmente bajo condiciones sin NaCl añadido y con salinidad moderada. La interacción inoculación × salinidad fue significativa para longitud de tallo, mientras que en número de hojas y diámetro de tallo mostró una tendencia cercana al nivel de significancia. El diámetro de tallo estuvo determinado principalmente por la concentración de NaCl, con una tendencia de reducción asociada al incremento de la salinidad. En conjunto, estos resultados indican que la cepa ACO-34A promueve el crecimiento vegetativo inicial de papa bajo condiciones de salinidad baja a moderada, aunque su efecto tiende a reducirse conforme aumenta la concentración de NaCl. Este comportamiento es compatible con procesos de promoción del crecimiento vegetal atribuidos a PGPR, incluyendo regulación hormonal, mejora de la homeostasis iónica y activación de respuestas antioxidantes. Desde una perspectiva aplicada, estos hallazgos respaldan el potencial de *Rhizobium* sp. ACO-34A como componente de estrategias de biofertilización sostenible en sistemas de cultivo de papa afectados por salinidad y justifican su evaluación posterior en condiciones de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.

De La Torre-Ruiz, N., Ruiz Valdiviezo, V. M., Rincón Molina, C. I., Rodríguez Mendiola, M., Arias Castro, C., Gutiérrez Miceli, F. A., & Rincón Rosales, R. (2016). Effect of plant growth-promoting bacteria on the growth and fructan production of Agave americana L. Brazilian Journal of Microbiology, 47, 587-596. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.010

FAO (2025). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Base de datos estadísticos de FAOSTAT

Flores López, R., López Delgado, H. A., & Sotelo Ruiz, E. D. (2024). *Tubérculo-semilla de papa en invernadero*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

García-Pérez, L. G., Rincón-Molina, C. I., Martínez-Romero, E., Rogel, M. A., Tapia-Torres, Y., Manzano-Gómez, L. A., Maldonado-Gómez, J. C., Rincón-Molina, F. A., & Rincón-Rosales, R. (2024). Genomic insights and plant growth-promoting potential of rhizobial strains from *Agave americana*. Horticulturae, 10(12), 1370. https://doi.org/10.3390/horticulturae10121370

Ghidawi, J. S, Ghazala, I., Haddar, A., Bouazizi, O., Gargouri Bouzid, R., & Nouri Ellouz, O. (2024). Effect of the Plant Growth-Promoting Bacteria Strain *Bacillus mojavensis* I4 on Potato Growth, Physiology, Tuber Yield, and Quality Under Salt Stress Conditions. *Potato Research*, 1-23. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3883973/v1

Hanifah, N. A. S. binti, Ghadamgahi, F., Ghosh, S., Ortiz, R., Whisson, S. C., Vetukuri, R. R., & Kalyandurg, P. B. (2023). Comparative transcriptome profiling provides insights into the growth promotion activity of *Pseudomonas fluorescens* strain SLU99 in tomato and potato plants. Frontiers in Plant Science, 14, 1141692. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141692

Jaiswal, S. K., Mohammed, M., Ibny, F. Y., & Dakora, F. D. (2021). Rhizobia as a source of plant growth-promoting molecules: potential applications and possible operational mechanisms. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 619676. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.619676

Kazimierczak, R., Średnicka-Tober, D., Hallmann, E., Kopczyńska, K., & Zarzyńska, K. (2019). The impact of organic vs. conventional agricultural practices on selected quality features of eight potato cultivars. Agronomy, 9(12), 799. https://doi.org/10.3390/agronomy9120799

Koch, M., Judd, A., Gutsch, A., & Paul, J.-Y. (2020). The importance of nutrient management for potato (Solanum tuberosum L.). *Potato Research*, 63, 135–152. https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2

Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N. K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants: Recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research, 252,* 126861. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861

SADER. (2021). *Mapa agrícola de afectación por salinidad en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/mapa-agricola-de-afectacion-por-salinidad-en-mexico

Sánchez-Bernal, E., Ortega Escobar, M., González Hernández, V., Camacho Escobar, M., & Kohashi Shibata, J. (2008). Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, inducido por diversas soluciones salinas. Interciencia, 33(9), 643-650.

Shahid, M., Altaf, M., & Danish, M. (2024). Halotolerant exopolysaccharide-producing *Rhizobium azibense* increases the salt tolerance mechanism in *Phaseolus vulgaris* L. by improving the growth, ion homeostasis, and antioxidant defensive enzymes. *Chemosphere*, 142431. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142431

Tahir, M., Ahmad, I., Shahid, M., Shah, G. M., Farooq, A. B. U., Akram, M., ... & Zakir, A. (2019). Regulation of antioxidant production, ion uptake and productivity in potato (*Solanum tuberosum* L.) plant inoculated with growth promoting salt tolerant *Bacillus* strains. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *178*, 33-42. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.027

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

FRESA *(FRAGARIA)* VARIEDAD FRONTERA EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO EN SIMBIOSIS CON *Trichoderma* PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Pablo Román Rivera Cortez[1]; Héctor Ángel Jaral Hernandez[1]; Keyla Alejandra Piñones Ramírez[1]; Mabiel Reyes Fuentes[2]; Anabel Flores Lee[3]; Berenice Rivera Cortez[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3] Maestría en Ciencias Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Abasolo, Guanajuato CP. 36976, México, [2]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio evaluó el desarrollo de la fresa (*Fragaria*) variedad Frontera en un sistema acuapónico de baja intensidad (SABI) en simbiosis con *Trichoderma yunnanense*, con el objetivo de analizar su comportamiento vegetativo bajo un modelo de agricultura sustentable. El experimento se llevó a cabo en el Tecnológico Nacional de México, campus Roque, utilizando un diseño completamente al azar con 48 plantas, de las cuales 24 fueron inoculadas con *Trichoderma* y 24 no recibieron inoculación. Se evaluaron variables de crecimiento durante seis semanas, considerando altura de planta, grosor de tallo, número de hojas y floración. Los resultados del análisis de varianza indicaron que el factor fecha presentó efectos significativos en altura, grosor de tallo y número de hojas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$), mientras que el tratamiento con *Trichoderma* y la interacción fecha × tratamiento no mostraron diferencias estadísticamente significativas. En la comparación de medias, se observó una disminución en las variables de crecimiento entre la primera y segunda evaluación. En conclusión, el sistema acuapónico permitió el establecimiento del cultivo, con la inoculación con *Trichoderma yunnanense.*

Palabras claves: *Fresa (Fragaria), sistema acuapónico, Trichoderma, agricultura sustentable, control biológico*

ABSTRAC

This study evaluated the growth performance of strawberry (*Fragaria*) cultivar Frontera in a low-intensity aquaponic system in symbiosis with *Trichoderma yunnanense*, aiming to analyze its vegetative development under a sustainable agriculture model. The experiment was conducted at Tecnológico Nacional de México, Roque campus, using a completely randomized design with 48 plants; 24 were inoculated with *Trichoderma* and 24 served as non-inoculated controls. Growth variables including plant height, stem diameter, number of leaves, and flowering were assessed over a six-week period. Analysis of variance showed that the evaluation date had a significant effect on plant height, stem diameter, and leaf number ($p<0.05$ and $p<0.01$). However, *Trichoderma*

treatment and the interaction between date and treatment were not statistically significant. Mean comparisons revealed a reduction in growth parameters between the first and second evaluations. In conclusion, the aquaponic system supported crop establishment, although *Trichoderma yunnanense* inoculation.

Keywords: Strawberry (*Fragaria*), aquaponic system, *Trichoderma*, sustainable agriculture, biological control.

INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria)* es una planta perene de la familia rosacea, valorada por su contenido nutricional, es uno de los frutos rojos con mayor importancia a nivel mundial debido a su sabor, valor nutricional y demanda en fresco e industria. México se posiciona como el tercer productor mundial, con 700 mil toneladas en el año 2025; Siendo Baja California, Michoacán y Guanajuato los principales estados productores, (*Blueberries Consulting,* 2025). Las variedades comerciales más utilizadas son Camarosa, Festival y Albion, clasificadas por su respuesta al fotoperiodo en día corto y día neutro, sin embargo para este proyecto utilizamos la variedad Frontera que tiene el mismo ciclo que las otras variedades comerciales. La producción enfrenta retos fitosanitarios importantes, principalmente hongos como *fusarium, Phytophthora y Verticillium* que reducen rendimiento y calidad (Ficha técnica Frontera 1, s.f.).

La acuaponía combina acuicultura e hidroponía, donde los desechos de los peces son transformados por bacterias nitrificantes en nutrientes para las planta, este sistema biointegrador de recirculación, es una alternativa sustentable porque reduce hasta 90% el uso de agua comparado con agricultura tradicional y elimina el uso de fertilizantes sintéticos. En cultivos hortícolas como lechuga y albahaca ha mostrado resultados positivos, sin embargo, su implementación en frutillas como la variedad de fresa que se transplantó es reciente y presenta desafíos por la alta demanda nutrimental del cultivo. Este sistema acuapónico incluye un estanque de peces, biofiltros y tubos de cultivo, que funcionan en un ciclo cerrado y eficiente (Portillo, s.f.). El estudio de Fernandez-Cabanas et al., 2022, evalúa la producción temprana de fresa en sistemas acuapónicos utilizando bandas hidropónicas comerciales. Analiza el desempeño del cultivo dentro de un sistema de economía circular, destacando la eficiencia en el uso de recursos y la viabilidad técnica del sistema. Concluye que la acuaponía puede ser una alternativa sostenible para la producción de fresa bajo condiciones controladas. En otro estudio se evaluó el cultivo de fresa en sistemas acuapónicos con diseño factorial, analizando el efecto de la suplementación con boro y el uso de sustrato. Se analizaron parámetros de crecimiento y composición mineral. Los resultados muestran que el sistema acuapónico puede sostener el desarrollo del cultivo y modificar la composición nutrimental del fruto dependiendo del manejo del sistema, Romano & Fischer, 2022.

Trichoderma yunnanense es un hongo benéfico que actúa como agente de control biológico, que mejora el crecimiento vegetal y protege contra patógenos. Este es un hongo benéfico de vida libre. Tambien, actúa por micoparasitismo, antibiosis, competencia por espacio/nutrientes e inducción de resistencia sistémica en la planta. En fresa se ha reportado que *T. harzianum* y *T. asperellum* reducen la incidencia de *Fusarium oxysporum* y *Botrytis cinerea* además de incrementar biomasa, contenido de clorofila y rendimiento de fruto. Su uso en sistemas acuapónicos es poco estudiado, pero representa una alternativa para manejar patógenos sin químicos (Revista Cultivar, s.f.). En un estudio se evaluó varias especies de *Trichoderma* contra patógenos causantes de pudrición de raíz en fresa (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*). Los tratamientos redujeron significativamente la incidencia y severidad de la enfermedad, además de mejorar parámetros de crecimiento y rendimiento, (El-Fiki & Ahmed, 2017), por lo tanto el objetivo de este trabajo fue conocer como se desarrolla la fresa (*fragaria*) variedad Frontera en un sistema acuapònico y la importancia del uso de microorganismos benéficos como Trichoderma representan una alternativa innovadora. Este trabajo analiza la integración de ambos enfoques en el cultivo de la fresa, destacando sus beneficios, funcionamiento y relevancia actual, para apoyar a la agricultura organica sostenible y sustentable, dandole una otra alternativa mas para la soberania agroalimentaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizo dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de Mexico, campus Roque es una institución de educación superior localizado en Roque, en Celaya, Gto; en una area compartida con el CETAC (Centro de Estudios Tecnológico de Aguas Continentales).,en un sistema acuapònico de baja intensidad (SABI), en el cuál se sembraron 48 plantas de fresa (*fregaria)* de la variedad Frontera, en vasos de 8 onzas a los cuales se les hicieron orificios y se les agregó tres tipos de sustratos que fueron tezontle, fibra de coco y perlita, posteriomente se transplantó la fresa en un diseño experimental completamente al azar en donde 24 plantas se inocularon con *trichoderma yunnanense* y 24 plantas se les dejaron sin el hongo y de ahi se hicieron observaciones fenológicas un día a la semana por las siguientes tres semanas para contabilizar su crecimiento y desarrollo, posteriormente se realizó una segunda inoculación y se repitio el proceso de observacion fenológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (ANOVA) permitió evaluar el efecto de la fecha de evaluación, el tratamiento con *Trichoderma yunnanense* y su interacción, sobre las variables de crecimiento: altura de planta, grosor de tallo, número de hojas y presencia de floración.

Cuadro 1. Análisis de Varianza wn wl desarrollo de fresa variedad Frontera con agua de acuaponía.

Fuente	gl	Altura planta	Grosor tallo	Hojas	Flor
Fecha	1	21615.13031**	109.3369016*	564.7567233**	0.08148893ns
Tratamiento	1	1199.23724ns	3.8208762ns	0.5529016ns	0.08148893ns
Fecha*Tratamiento	1	490.22138ns	2.9882647ns	21.2535386ns	0.08148893ns

FV = Fuente de variación; gl = Grados libertad; 1 = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05): ** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01); ns = No significativo (P≥ 0.05).

Se observaron diferencias altamente significativas entre fechas para las variables altura de planta ($p<0.01$) y número de hojas ($p<0.01$), así como diferencias significativas en grosor de tallo ($p<0.05$). En contraste, la variable floración no presentó diferencias significativas ($p>0.05$). El factor tratamiento no mostró efecto estadísticamente significativo en ninguna de las variables evaluadas, al igual que la interacción fecha × tratamiento.

Cuadro 2. Comparación de medias por fecha en el cultivo de fresa variedad frontera.

Fecha	Altura planta	Grosor tallo	Hojas	Flor
1	93.363 a	4.990 a	17.375 a	2.18 a
2	58.950 b	2.547 b	11.853 b	2.00 a

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; 1 = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.

En la comparación de medias por fecha, se identificó que en la primera evaluación las plantas presentaron valores superiores en altura (93.36), grosor de tallo (4.99) y número de hojas (17.37), en comparación con la segunda evaluación, donde se registraron valores menores (altura: 58.95; grosor: 2.54; hojas: 11.85). En el caso de la floración, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre fechas. Cuadro 2

Cuadro 3. Comparación de medias por tratamiento en el desarrollo de fresa variedad frontera.

Fecha	AP	GT	H	F
TE	82.436 a	4.156 a	15.056 a	2.3750 a
T1	72.924 a	3.595 a	14.632 a	2.0000 a

Los valores en la misma columna con las mismas letras son estadísticamente iguales; TE = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.

Respecto a la comparación de medias por tratamiento, no se observaron diferencias significativas entre las plantas inoculadas con *Trichoderma* (TE) y las plantas sin inoculación (T1). Aunque numéricamente el tratamiento TE presentó valores ligeramente superiores en altura, grosor de tallo, número de hojas y floración, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Cuadro 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Segun Mixquititla-Casbis et al. (2020), que hace una evaluacion del cultivo de la fresa en acuaponia el indica que en el resultado de varianza hay un efecto positivo sobre las diferentes variables de crecimiento en el cual coincide con las mediciones que se dieron a lo largo de su tratamiento esto nos dice que los resultados son similares a las variables que se utilizaron en este caso las cuales fueron altura de planta ,grosor de tallo, altura de tallo y numero de hojas estas obtuvieron resultados positivos ya que en este caso se utilizo *trichoderma yunnanense,* ademas auque no se muestrea estadisticamente se obtuvieron varios frutos.

El cultivo de fresa (Fragaria) variedad Frontera en sistema acuapónico de baja intensidad mostró un desarrollo vegetativo influenciado principalmente por el factor temporal. De acuerdo a los resultados sugieren que el sistema acuapónico es viable para el establecimiento del cultivo, y que la integración de microorganismos benéficos representa una estrategia potencial dentro de modelos de agricultura sustentable. Se recomienda ampliar el tiempo de evaluación, incluir variables de rendimiento y análisis microbiológicos del sustrato y agua, con el fin de determinar con mayor precisión el impacto de la simbiosis entre el sistema acuapónico y *Trichoderma* en el desarrollo y productividad del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blueberries Consulting. (2025, febrero 11). *Se prevé que la producción de berries de México aumente en 2025 y las exportaciones alcancen las 752 mil toneladas métricas*. Blueberries Consulting. https://blueberriesconsulting.com/se-preve-que-la-produccion-de-berries-de-mexico-aumente-en-2025-y-las-exportaciones-alcancen-las-752-mil-toneladas-metricas/

El-Fiki, I. A. I., & Ahmed, M. F. A. (2017). Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using *Trichoderma* spp. *Research Journal of Applied Sciences, 7*(3), 482–492.

Fernandez-Cabanas, V. M., Delgado, A., Lobillo-Eguíbar, J. R., & Pérez-Urrestarazu, L. (2022). Early production of strawberry in aquaponic systems using commercial hydroponic bands. *Aquacultural Engineering, 97*, 102242. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.10224

Ficha técnica frontera 1. (s. f.). Scribd. https://es.scribd.com/document/744496572/FICHA-TECNICA-FRONTERA-1

Mixquititla-Casbis, G., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava, H., & Cardoso-Taketa, A. T. (2020). *Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(6), 1337-1348. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329

Portillo, G. (s.f.). *Descubre el potencial de la acuaponía: cómo funciona y sus beneficios*. Renovables Verdes. https://www.renovablesverdes.com/acuaponia/

Revista Cultivar. (s.f.). *Trichoderma yunnanense*. Revista Cultivar. https://revistacultivar-es.com/fitossanidade/trichoderma-yunnanense

Romano, N., & Fischer, H. (2022). Aquaponic production of strawberries and their mineral and sugar composition when supplemented with or without boron and cultured with or without media. *Preprints*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1939072/v1

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

GERMINACIÓN DE *Physalis ixocarpa* EN SUSTRATO DE COMPOSTA CON EFLUENTE ACUÍCOLA

Frida Estrada Bernardo[1]; Ramsés García Moreno[1]; Juan Abisai Patiño Salinas[1]; Mabiel Reyes Fuentes[2]; Jesús David Joaquín Cuarenta[2]; José Gómez Espinoza[2]; Berenice Rivera Cortez[3]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [2] Ingeniería en Hidrológica, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Doctorado en Ciencias de Producción, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio evaluó el crecimiento inicial de *Physalis ixocarpa* mediante el uso de composta como sustrato, comparando el riego con agua de pozo (agua normal) frente al uso de efluente acuícola. Se analizaron variables de altura y ancho del tallo en un total de 129 plántulas, distribuidas en 60 bajo el tratamiento con agua normal y 69 bajo el tratamiento con efluente. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas en la altura promedio entre tratamientos ($p < 0.05$), observándose un mayor desarrollo en las plántulas irrigadas con efluente acuícola. Estos hallazgos sugieren que la incorporación de efluentes en sistemas de producción puede favorecer el crecimiento inicial del cultivo, contribuyendo a estrategias agrícolas más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa*, composta, efluente acuícola, germinación, sostenibilidad.

ABSTRACT

This study evaluated the initial growth of *Physalis ixocarpa* using compost as a growing medium and comparing irrigation with well water (normal water) versus aquaculture effluent. Height and stem diameter were measured in a total of 129 seedlings, distributed as 60 under the normal water treatment and 69 under the effluent treatment. The results showed statistically significant differences in average plant height between treatments ($p < 0.05$), with greater growth observed in seedlings irrigated with aquaculture effluent. These findings suggest that the use of effluent may enhance early plant development under a sustainable production approach.

Keywords: *Physalis ixocarpa*, compost, aquaculture effluent, germination, sustainability

INTRODUCCIÓN

El tomatillo (*Physalis ixocarpa*) es una especie herbácea de ciclo relativamente corto que forma parte fundamental de la agricultura y la gastronomía mexicana desde épocas antiguas. Su cultivo representa una actividad económica relevante, ya que México figura entre los principales productores a nivel mundial, con volúmenes que superan las 700 mil toneladas anuales. La producción se concentra principalmente en estados como Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Michoacán y Puebla, donde las condiciones ambientales favorecen su desarrollo. Además, este producto tiene importancia comercial internacional, ya que es exportado principalmente a Estados Unidos y Canadá, debido a la alta demanda de ingredientes utilizados en la cocina tradicional mexicana (SADER, s.f.).

El tomatillo también posee importancia nutricional y funcional, ya que es fuente de vitamina C, compuestos fenólicos y antioxidantes que contribuyen a la alimentación humana. Además, contiene minerales esenciales y fibra dietética, lo que incrementa su valor dentro de la dieta tradicional mexicana. De acuerdo con Ciencias Agrícolas, el interés por este cultivo ha aumentado debido a su potencial económico y nutricional. Medina-Medrano *et al*. (2021) destacan que los frutos de *Physalis ixocarpa* presentan compuestos bioactivos con capacidad antioxidante y propiedades benéficas para la salud.

Comprender el proceso de germinación es esencial para obtener plántulas vigorosas y uniformes. La germinación inicia cuando la semilla absorbe agua, activando procesos metabólicos internos que permiten el desarrollo del embrión. Durante esta etapa ocurre la movilización de reservas nutritivas, lo que da lugar primero a la emisión de la radícula y posteriormente al crecimiento del tallo y las primeras hojas. Para que este proceso ocurra de manera eficiente, se requieren condiciones ambientales adecuadas, como humedad constante, temperatura óptima entre 20 y 30 °C, disponibilidad de oxígeno y un medio de cultivo que proporcione buena aireación y drenaje. En este contexto, la composta representa una alternativa adecuada como sustrato, ya que mejora la estructura física del medio de crecimiento, favorece la retención equilibrada de agua y aporta nutrientes esenciales que apoyan el establecimiento inicial de la planta (Han *et al*., 2021).

La implementación de estrategias sostenibles en la producción agrícola es cada vez más necesaria. Una alternativa viable es la utilización de efluentes provenientes de sistemas acuícolas, los cuales contienen nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos elementos pueden ser aprovechados por las plantas, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos y promoviendo la integración de sistemas productivos. La reutilización del efluente contribuye al uso eficiente del agua y al cierre de ciclos de nutrientes dentro de un enfoque de producción más responsable (Troche Arias *et al*., 2021).

Asimismo, el uso de fertilización orgánica y biofertilizantes en la producción de plántulas puede mejorar el crecimiento vegetal y reducir el impacto ambiental generado por fertilizantes químicos. Ramos-González *et al*. (2020) señalan que los sustratos orgánicos favorecen la absorción de nutrientes, estimulan el crecimiento radicular y mejoran la calidad de las plántulas en etapas tempranas de desarrollo.

El uso de composta como sustrato también ofrece ventajas importantes en el establecimiento de plántulas (Hernández-Rodríguez *et al*., 2020). La adición de composta incrementa la capacidad de intercambio catiónico, mejora la retención de nutrientes y favorece las propiedades físicas del sustrato utilizadas en el establecimiento de plantas Debido a su origen orgánico, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio de cultivo, incrementando la actividad microbiana y facilitando la disponibilidad gradual de nutrientes (Montoya-Jasso *et al*., 2021). Los materiales orgánicos utilizados como componentes de sustrato contribuyen al desarrollo adecuado de plántulas y representan una alternativa sostenible al aprovechamiento de residuos orgánico, Además, favorece el desarrollo del sistema radicular y contribuye a la sostenibilidad del sistema productivo al aprovechar residuos orgánicos transformados en un recurso útil (Acevedo-Alcalá *et al*., 2020).

Por otra parte, la integración de sistemas acuícolas y agrícolas mediante el aprovechamiento de efluentes permite optimizar recursos y avanzar hacia modelos de producción sustentable. Según Goddek *et al*. (2019), los sistemas integrados acuapónicos reducen el desperdicio de agua y permiten reutilizar nutrientes provenientes de la actividad acuícola, favoreciendo la sostenibilidad agrícola y ambiental. El objetivo de este proyecto fue evaluar el desarrollo inicial del tomatillo utilizando composta como sustrato y comparando el uso de agua de pozo con efluente acuícola. Se busca determinar si el efluente favorece la germinación y el crecimiento temprano de las plántulas, integrando prácticas que optimicen el uso de recursos y promuevan un sistema de producción más sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones controladas de Invernadero que se encuentra en la unidad de Acuacultura en el Tecnológico Nacional de México Campus Roque; Se utilizaron semillas certificadas de *Physalis ixocarpa* con buena viabilidad y uniformidad. Se evaluaron los siguientes tratamientos: T1: Riego con agua de pozo + sustrato de composta; T2: Riego con efluente acuícola + sustrato de composta.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, altura de plántula y ancho de tallo. Los datos obtenidos se

analizaron mediante pruebas estadísticas en sistema estadístico SAS 9.4, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias altamente significativas en los tratamientos para la variable altura, en el caso de los tratamientos para la variable ancho de tallo fueron no significativas (cuadro 1). El uso de composta como sustrato permitió un desarrollo adecuado de las plántulas, favoreciendo la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables ancho de tallo y altura de tomate de cáscara.

Fuente	GL	AT	AP
Tratamiento	1	0.09633333^{ns}	1496.720333**
Repetición	2	0.27700000^{ns}	9.151000^{ns}
Error	26	0.16433333	10.199410
C.V.		28.34	10.97

FV = Fuente de variación; gl = Grados libertad; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$): ** = Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); ns = No significativo ($P \geq 0.05$)

Para la comparación de medias encontramos que el tratamiento de agua de pez en la variable de altura tuvo el valor mas alto, para el caso de la variable ancho de tallo no se mostraron diferencias entre tratamientos (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para variables ancho de tallo y altura de tomate de cáscara.

Tratamiento	AT	AP
Agua normal	1.4867a	22.027b
Agua de pez	1.3733a	36.153^{a}

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo.

Esto demuestra que el uso de efluente acuícola incrementó significativamente la altura de las plántulas en comparación con el riego con agua normal. En el análisis estadístico completo del ancho del tallo, los datos descriptivos muestran una tendencia mayor en el tratamiento con efluente, lo que sugiere mejor desarrollo estructural de las plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que el uso de efluente acuícola favorece significativamente el crecimiento en altura de *Physalis ixocarpa* cuando se utiliza composta como sustrato. Este comportamiento puede atribuirse al aporte adicional de nutrientes como nitrógeno y fósforo presentes en el efluente, los cuales estimulan el crecimiento

vegetativo. Se valida lo que menciona Han *et al*. (2021) explican que la germinación de semillas está regulada por factores como la temperatura, el agua, los nutrientes y las fitohormonas, los cuales influyen directamente en el desarrollo inicial de la planta. La composta contribuye a mejorar las propiedades físicas del medio de cultivo, facilitando la aireación y retención equilibrada de humedad, lo que crea condiciones favorables para la absorción de nutrientes. La combinación de composta y efluente acuícola representa un sistema integrado que optimiza recursos y promueve prácticas agrícolas sostenibles.

Estos resultados respaldan la importancia de implementar estrategias de reutilización de recursos en sistemas productivos, contribuyendo al cierre de ciclos de nutrientes y al desarrollo de modelos agrícolas más eficientes. Troche Arias *et al*. (2021) mencionan que la reutilización de efluentes en sistemas hidropónicos puede contribuir al aprovechamiento eficiente de nutrientes y agua. Durante el tratamiento del proyecto con efluente acuícola comprobamos que se produjo un crecimiento significativamente mayor en altura. La composta funcionó adecuadamente como sustrato para el establecimiento de plántulas. La integración de composta y efluente acuícola representa una alternativa viable y sostenible para la producción de tomatillo. Los resultados apoyan la implementación de sistemas productivos con enfoque de economía circular

CONCLUSIONES

El empleo combinado de efluentes acuícolas con materia orgánica, representa una alternativa en la producción de las plantas.

El trasplante de plantas con el procedimiento empleado fue eficiente, lo que representa una oportunidad para una agricultura sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo-Alcalá, P., Taboada-Gaytán, O. R., & Cruz-Hernández, J. (2020). *Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato*. Acta Agronómica, 69(3), 234–240. https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84508

Barros, J. R. A., Angelotti, F., Santos, J. O., Silva, R. M., Dantas, B. F., & Melo, N. F. (2020). *Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 14(2). https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.10339

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Han, Z., Ku, L., Zhang, Z., Zhang, J., Guo, S., Liu, H., Zhao, R., Ren, Z., & Chen, Y. (2021). *The regulatory network behind maize seed germination: Effects of temperature, water, phytohormones, and nutrients*. Crop Journal, 9(3), 588–605. https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.11.005

Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López-Díaz, J. C., & Arras-Vota, A. M. (2020). *Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*. Tecnociencia Chihuahua, 4(1), 1–6. https://doi.org/10.54167/tch.v4i1.719

Cifuentes-Torres, L. C., Correa-Reyes, G. C., & Sánchez, J. E. (2021). *Can reclaimed water be used for sustainable food production in aquaponics?* Frontiers in Plant Science, 12, 669984. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984

Martínez-Antonio, E. M., Magallón-Barajas, F., Racotta, I. S., Santiago-Martínez, G. M., & Castañeda-Hidalgo, E. (2022). *Nutrientes residuales de sistemas acuícolas para la integración a sistemas agrícolas*. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 9(2), 45-56.

Medina-Medrano, J. R., Almaraz-Abarca, N., González-Elizondo, M. S., & Herrera-Arrieta, Y. (2021). Contenido fenólico y capacidad antioxidante en frutos de Physalis ixocarpa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(4), 745–754.

Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). *Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta*. Terra Latinoamericana, 39. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601

Ramos-González, R. H., García-López, J. I., Preciado-Rangel, P., & Sánchez-Chávez, E. (2020). Uso de sustratos orgánicos en la producción de plántulas hortícolas. Terra Latinoamericana, 38(3), 561–570.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (s.f.). *Información estadística agrícola nacional*. Gobierno de México

Troche Arias, G. A., Duré, G., Velázquez Decoud, L., & López Arias, T. R. (2021). *Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de Lactuca sativa*. Revista de la Sociedad Científica del Paraguay, 26(1), 35-49. https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.1.35

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

GERMINACIÓN DE TOMATILLO (*Physalis ixocarpa*) EN SUSTRATO DE FIBRA DE COCO CON EFLUENTE ACUÍCOLA

Ricardo Huerta Ruiz[1], Luis Alonso Flores Sanchez[1], Blanca Estrella Ramírez López[1], Braulio García Meza[1], Mabiel Reyes Fuentes[2], Jesús David Joaquín Cuarenta[2], José Gómez Espinoza[2], Berenice Rivera Cortez[3]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [2] Ingeniería en Hidrológica, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Doctorado en Ciencias de Producción, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

El tomatillo, conocido científicamente como *Physalis ixocarpa,* es una planta herbácea, es decir, no tiene un tallo leñoso como los árboles. Su crecimiento es relativamente rápido. Originaria de México que ha sido parte importante de la alimentación desde tiempos prehispánicos. Se produce en grandes cantidades cada año, lo que demuestra su importancia económica, alimentaria y cultural. México es uno de los principales productores de este cultivo a nivel mundial, con una producción anual que supera las 700 mil toneladas. Los principales estados productores son Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Michoacán y Puebla, donde las condiciones climáticas favorecen su desarrollo. Además, el tomate verde mexicano también se exporta principalmente a Estados Unidos y Canadá, países donde existe una alta demanda debido al consumo de alimentos tradicionales mexicanos (SADER, 2023).

Para lograr una buena producción de tomatillo, es necesario comprender desde el inicio cómo ocurre el desarrollo de la planta, especialmente durante la etapa de germinación. La cual es el proceso biológico mediante el cual la semilla inicia su crecimiento al activarse metabólicamente, dando origen a una nueva planta. Comienza cuando la semilla absorbe agua, fenómeno conocido como imbibición, lo que provoca la activación de enzimas y el aprovechamiento de las reservas nutritivas almacenadas en el endospermo o cotiledones. Posteriormente, emerge la radícula, que será la primera raíz de la planta, seguida por el desarrollo del tallo y las primeras hojas verdaderas. Para que la germinación y emergencia del tomatillo ocurran de manera adecuada, la semilla necesita ciertas condiciones esenciales. Entre las más importantes se encuentran la disponibilidad de agua, ya que la humedad permite activar los procesos fisiológicos; una temperatura adecuada, que en el caso del tomatillo oscila entre 20 y 30 °C; oxígeno suficiente para la respiración celular; y un sustrato con buena aireación y drenaje, que evite el exceso de humedad y la pudrición de la semilla. Además, la semilla debe contar con buena viabilidad y vigor, es decir, estar sana, madura y libre de daños físicos o enfermedades.

La emergencia ocurre cuando la plántula logra atravesar la superficie del sustrato y queda expuesta a la luz, iniciando así la fotosíntesis. En esta etapa, factores como la profundidad de siembra, la textura del suelo y el manejo adecuado del riego son fundamentales para obtener plántulas uniformes y vigorosas, lo que influirá directamente en el rendimiento final del cultivo (INIFAP, 2017).

También es importante evaluar alternativas sostenibles que contribuyan a mejorar la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas de tomatillo. Una de estas alternativas es el uso de efluentes provenientes de sistemas acuícolas, ya que contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio que pueden ser aprovechados por las plantas durante su crecimiento. De acuerdo con Goddek *et al*. (2019), la reutilización del agua y de los nutrientes generados en los sistemas acuícolas favorece el crecimiento vegetal y permite optimizar el uso del agua dentro de sistemas de producción más sostenibles.

Asimismo, diversos estudios han demostrado que el aprovechamiento de efluentes acuícolas puede disminuir la necesidad de fertilizantes químicos, contribuyendo al reciclaje de nutrientes y a la reducción del impacto ambiental. Cifuentes-Torres *et al*. (2021) mencionan que la integración entre acuicultura y agricultura representa una estrategia eficiente para fortalecer la producción sustentable y el uso racional de los recursos naturales.
De igual manera, el tipo de sustrato empleado influye directamente en la germinación y emergencia de las plántulas. La fibra de coco es un material orgánico ampliamente utilizado en horticultura debido a sus propiedades físicas, como su elevada capacidad de retención de humedad, buena aireación y adecuado drenaje. Según Gruda (2019), este sustrato favorece el desarrollo radicular y mejora las condiciones para el establecimiento inicial de las plantas.

Diversas investigaciones han demostrado que el uso de efluentes acuícolas en combinación con sustratos orgánicos puede favorecer el crecimiento y desarrollo de plántulas hortícolas. Danaher *et al*. (2016) evaluaron el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando sustratos parcialmente sustituidos con efluentes acuícolas deshidratados y observaron mejoras en el desarrollo radicular, acumulación de biomasa y crecimiento general de las plantas. Los autores concluyeron que los nutrientes presentes en el efluente pueden suplir parcialmente la fertilización comercial y mejorar las propiedades químicas del sustrato.

También se ha reportado que el uso de aguas residuales acuícolas puede mejorar la germinación y el crecimiento inicial de ciertos cultivos bajo condiciones controladas. García-Galindo *et al*. (2021) encontraron que los efluentes provenientes del cultivo de camarón aportaron nutrientes que favorecieron la germinación y el establecimiento inicial de plantas halófitas, demostrando el potencial de los efluentes acuícolas como alternativa sustentable para la producción vegetal. El evaluar el efecto del efluente acuícola en la germinación

y el crecimiento inicial de las plantas, además de promover el aprovechamiento de recursos residuales dentro de un enfoque sostenible orientado al cuidado del agua, la reutilización de nutrientes y el fortalecimiento de la soberanía alimentaria. Por ello, el objetivo de este proyecto fue producir plántulas de tomatillo comparando el uso de agua de pozo y efluente acuícola de pez, utilizando fibra de coco como sustrato.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizó dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, campus roque es una institución de educación superior localizado en la localidad de Roque, en el municipio de la ciudad de Celaya, en un área del proyecto de ACUACULTURA, con la dirección en Km.8, carretera Celaya-Juventino Rosas, C.P. 38110, Celaya, GTO.

Para el presente proyecto, iniciamos haciendo el lavado de la charola de germinación para evitar restos de sustratos anteriores y otros contaminates, seguido de esto se llenaron las cavidades de la charola con el sustrato fibra de coco, teniendo las cavidades cubiertas, se depositaron una semilla por cavidad, seguido de esto se cubrió con otra capa del sustrato asegurándonos de que quedara bien cubierto para evitar que la semilla flotara fuera de la charola, con marcadores se etiquetaron las charolas y en un costado se señaló específicamente el tratamiento agua de pez y en la parte restante agua simple, terminado este proceso los riegos eran continuos, ya que la fibra de coco requiere un mayor humedad. Los tratamientos evaluados fueron: T1: Riego con agua de pozo + sustrato de fibra de coco, T2: Riego con efluente acuícola + sustrato de fibra de coco.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, altura de plántula y ancho de tallo. Los datos obtenidos se analizaron mediante pruebas estadísticas en sistema estadístico SAS 9.4, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias altamente significativas en los tratamientos para la variable altura, en el caso de los tratamientos para la variable ancho de tallo fueron no significativas (cuadro 1). El uso de fibra de coco como sustrato permitió un desarrollo adecuado de las plántulas, favoreciendo la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.

Cuadro 1. Análisis de varianza para variables ancho tallo y altura.

F.V	GL	AT	AP
Tratamiento	1	0.52411392**	619.2648101 **
Repetición	4	0.00377832ns	27.8423444ns
Error	34	0.02719518	24.145814
C.V.		19.92	26.01

F.V = Fuente de variación; GL = Grados libertad; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05): ** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01); ns = No significativo (P≥ 0.05)

Para la comparación de medias encontramos que el tratamiento de agua de pez en la variable de altura tuvo el valor más alto, para el caso de la variable ancho de tallo también se mostraron diferencias entre tratamientos (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para variables ancho de tallo y altura en sustrato de fibra de coco.

Tratamiento	AT	AP
Agua normal	0.71905 b	15.229 b
Agua de pez	0.94737 a	22.937 a

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo

El análisis mostró que el tipo de agua utilizada influyó significativamente en el ancho de tallo y la altura de las plantas cultivadas en fibra de coco. En ambas variables, el tratamiento con agua de pez fue estadísticamente superior al tratamiento con agua normal. En la comparación de medias, el agua de pez registró un mayor ancho de tallo y mayor altura, mientras que el agua normal presentó valores de 0.71905cm y 15.229 cm, respectivamente. Las diferentes confirman que las diferencias entre tratamientos son significativas. En conclusión, el uso de agua de pez promovió un mejor crecimiento de las plantas en comparación con el agua normal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados sugieren que la fibra de coco constituye un sustrato adecuado para la germinación de *Physalis ixocarpa*, debido a sus propiedades físicas y biológicas. Además, la integración del efluente acuícola puede representar una estrategia eficiente para mejorar la nutrición inicial de las plántulas, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos lo cual confirman lo que Gruda (2019) menciona que la fibra de coco es uno de los sustratos más utilizados en horticultura debido a sus propiedades físicas, como alta porosidad, adecuada retención de humedad y buena aireación, características que favorecen el desarrollo de raíces y la producción uniforme de plántulas. Además, este material puede combinarse eficientemente con soluciones nutritivas orgánicas o efluentes ricos en nutrientes provenientes de sistemas acuícolas.

Estudios recientes sobre producción de plántulas de tomate cherry utilizando aguas residuales provenientes de sistemas acuícolas recirculantes y mezclas con fibra de coco mostraron resultados favorables en el vigor y establecimiento de las plántulas. De acuerdo con Silva *et al*. (2025), los tratamientos que incluyeron fibra de coco presentaron mejores condiciones de humedad y desarrollo radicular, debido a la capacidad de este material para mantener aireación y retención de agua adecuadas durante la germinación y emergencia. Estos resultados obtenidos coinciden con los estudios antes mencionados que destacan la importancia del reciclaje de nutrientes en sistemas integrados de producción, promoviendo un uso más eficiente del agua y los recursos disponibles. La combinación de fibra de coco y efluente acuícola puede contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles.

CONCLUSIONES

El uso de la fibra de coco como sustrato favorece la germinación y el establecimiento inicial de plántulas de tomatillo. Asimismo, la aplicación de efluente acuícola representa una alternativa sostenible que puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y optimizar el uso de recursos. La integración de estas prácticas puede contribuir al fortalecimiento de sistemas productivos más eficientes y ambientalmente responsables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cifuentes-Torres, L. C., Correa-Reyes, G. C., & Sánchez, J. E. (2021). *Can reclaimed water be used for sustainable food production in aquaponics?* Frontiers in Plant Science, 12, 669984. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984

Danaher, J. J., Pickens, J. M., Sibley, J. L., Chappell, J. A., Hanson, T. R., & Boyd, C. E. (2016). *Tomato seedling growth response to different water sources and a substrate partially replaced with dewatered aquaculture effluent*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 5, 25–32. https://doi.org/10.1007/s40093-016-0114-x

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Gruda, N. (2019). *Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems*. Agronomy, 9(6), 298. https://doi.org/10.3390/agronomy9060298.

García-Galindo, E., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Lucero-Vega, G., Murillo-Amador, B., Ruiz-Espinoza, F. H., & Fraga-Palomino, H. C. (2021). *Germination of Salicornia bigelovii under shrimp culture effluents and the application of vermicompost leachate for mitigating salt stress*. Agronomy, 11(3), 424. https://doi.org/10.3390/agronomy11030424

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Gruda, N. (2019). *Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems*. Agronomy, 9(6), 298. https://doi.org/10.3390/agronomy9060298

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2017). Tecnología para la producción de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) en México. INIFAP. https://www.inifap.gob.mx/

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). Tomate verde mexicano: producción nacional y exportación. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura

Silva, R. M., Souza, L. A., Pereira, D. S., & Oliveira, J. P. (2025). *Seedling production of cherry tomato (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) on different substrates using wastewater from a recirculating aquaculture system*. ResearchGate preprint.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

MANEJO DE CULTIVO Y NUTRICIÓN ORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DE CALABACITA (*Cucurbita pepo* L.) EN EL BAJÍO

Aurelio Báez-Pérez[1*]; Brian Adolfo Reyes-Cerritos[1]; Eduardo Figueroa Rodríguez[1]; Ana Lizbeth García Campos[1]; Sergio Gómez-Rosales[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Bajío. Km. 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende, localidad de Roque, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato; [2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Km. 8 de la Carretera Celaya-Juventino Rosas, localidad de Roque, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato. *Autor para correspondencia: baez.aurelio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se evaluó la producción de calabacita (*Cucurbita pepo L.*) por efecto de dos sistemas de cultivo: (1) labranza convencional y (2) prácticas de agricultura de conservación; y ocho dosis de fertilización: (1) testigo sin fertilización, (2) aplicación de 3.6 t ha^{-1} estiércol seco de porcino, (3) aplicación de 7.2 t ha^{-1} de ese mismo estiércol, (4) aplicación de 3.6 t ha^{-1} de composta de porcino, (5) aplicación de 7.2 t ha^{-1} de esa misma composta, (6) aplicación de 3.6 t ha^{-1} de lombricomposta de porcino, (7) aplicación de 7.2 t ha^{-1} de esa misma lombricomposta, (8) testigo con fertilización química con 350 unidades de N ha^{-1}. El diseño estadístico correspondió a un análisis factorial 2 x 8 (16 tratamientos) con arreglo en bloques al azar y tres repeticiones. El ensayo se estableció en el Tecnológico Nacional de México, *Campus* Roque. Se sembró semilla de calabacita variedad “Adelita” de la empresa SEMINIS, filial de Bayer. Se evaluó el número de frutos, rendimiento y contenido de N, P y K en hoja. La agricultura de conservación incrementó la producción de calabacita en 6.1 % respecto al sistema de cultivoconvencional. La fertilización química generó mayor número de frutos y rendimiento, aunque con menor calidad nutricional. En contraste, los abonos orgánicos mejoraron la sostenibilidad del suelo y redujeron la incidencia de plagas y enfermedades, pero produjeron frutos ligeramente más pequeños y ligeros. En conjunto, el estudio evidencia los beneficios y limitaciones de ambos tipos de fertilización, Aportando información clave que permita impulsar prácticas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: *hortalizas, agricultura de conservación, fertilización*

ABSTRACT

The production of zucchini (Cucurbita pepo L.) was evaluated under two cultivation systems: (1) conventional tillage and (2) conservation agriculture practices; and eight fertilization doses: (1) control without fertilization, (2) application of 3.6 t ha-1 dry pig manure, (3) application of 7.2 t ha^{-1} of the same manure, (4) application of 3.6 t ha^{-1} of pig compost, (5) application of 7.2 t ha^{-1} of the same compost, (6) application of 3.6 t ha-1 of pig vermicompost, (7) application of 7.2 t ha^{-1} of the same vermicompost, (8) control with chemical fertilization with

350 units of N ha^{-1}. The statistical design was a 2 x 8 factorial analysis (16 treatments) with a randomized complete block design and three replications. The trial was conducted at the National Technological Institute of Mexico, Roque Campus. Zucchini seeds of the “Adelita” variety, from SEMINIS, a Bayer subsidiary, were sown. The number of fruits, yield, and leaf N, P, and K content were evaluated. Conservation agriculture increased zucchini production by 6.1% compared to the conventional farming system. Chemical fertilization resulted in a greater number of fruits and higher yield, although with lower nutritional quality. In contrast, organic fertilizers improved soil sustainability and reduced the incidence of pests and diseases, but produced slightly smaller and lighter fruits. Overall, the study highlights the benefits and limitations of both types of fertilization, providing key information to promote sustainable agricultural practices.

Keywords: *Vegetables, conservation agriculture, fertilization*

INTRODUCCIÓN

La calabacita (*Cucúrbita pepo L.*) en México es un cultivo de importancia económica, amplia distribución geográfica e imprescindible en la alimentación para la población. Los principales estados productores en el país son: Sonora, Puebla y Michoacán (DGSIAP, 2022). Se estima que se exportan anualmente alrededor de 550,410 toneladas. Su manejo tecnificado depende fuertemente de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados, cuya baja eficiencia y efectos contaminantes representan un problema ambiental y económico (Obregón-Portocarreo *et al*., 2016; Sanjuán y Moreno, 2010). Los abonos orgánicos mejoran la fertilidad del suelo, aunque su aporte de nutrientes es limitado y su liberación depende de la mineralización, lo que implica que su disponibilidad para las plantas puede ser más lenta y variable en comparación con los fertilizantes sintéticos (Álvarez-Solís, 2010); Sin embargo, la combinación de fertilización orgánica y química ha mostrado beneficios en rendimiento y calidad de suelo (Díaz-Franco et al., 2016; Martinetti y Paganini, 2006; Rossi et al., 2016). Las practicas de agricultura de conservación también constituyen una alternativa sostenible (Govaers et al., 2009), con evidencia de éxito en la producción de calabacita (Dlamini *et al.,* 2019). El presente estudio se orientó a evaluar la producción de esta especie bajo distintos sistemas de cultivo y dosis de fertilización, con el fin de determinar su efecto sobre el rendimiento, la eficiencia nutricional y la sostenibilidad del sistema de producción agrícola, así como establecer estrategias de manejo adecuadas para el cultivo. El propósito de este trabajo fue en evaluar la respuesta en la producción de calabacita en dos diferentes sistemas de cultivo y dosis de fertilización química y orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en una parcela experimental del Tecnológico Nacional de México, *campus* Roque, Celaya, Guanajuato, el cual se ubica a los 20.58343134772042 LN y -100.82804467089922 LO, a una altitud de 1767 msnm (Figura 1). El clima de la región según García (1984) es semicálido seco BS1hw (W)(e)q. La temperatura media anual es de 20.6 °C, y la precipitación pluvial media anual es de 597 mm. El tipo de suelo de la parcela experimental correspondió, según la clasificación de la USDA, a un *Vertisol*, el cuál es representativo de la región Bajío.

El suelo de la parcela experimental fue del tipo *Vertisol pelico*: obscuro, profundo (> 1 m), de clase textural arcillosa, con mediano contenido de materia orgánica. El pH fue alcalino, con un contenido de alrededor 45% de arcilla, 21% de limo y 34% de arena; alto contenido de P, K, Ca, y una capacidad de intercambio catiónico de 26.1 Cmol(+)kg^{-1} de suelo.

Se estableció un experimento el 30 de agosto de 2024 en una parcela experimental del Tecnológico Nacional de México, Campus Roque, en Celaya, Guanajuato. Se evaluó la producción de calabacita por efecto de dos sistemas de cultivo: (1) labranza convencional y (2) agricultura de conservación; y ocho dosis de fertilización: (1) testigo sin fertilización, aplicación de estiércol seco de porcino en (2) 3.6 y (3) 7.2 t ha^{-1}, aplicación de composta de porcino en (4) 3.6 y (5) 7.2 t ha^{-1}, aplicación de lombricomposta de porcino en (6) 3.6 y (7) 7.2 t ha^{-1}; y testigo con fertilización química (8) 350 unidades de N ha^{-1}. La descripción de tratamientos se presenta en el cuadro 1. El experimento fue un análisis factorial 2 x 8 (16 tratamientos) con tres repeticiones y arreglo en bloques al azar.

Se estableció en diciembre de 2023 trigo variedad Alondra F2014, para producir los residuos de cosecha necesarios para el establecimiento de tratamientos con prácticas de agricultura de conservación en primavera-verano de 2024. Se estableció frijol variedad flor de junio en mayo de 2024, con los tratamientos correspondientes dos sistemas de cultivo: (1) agricultura convencional y (2) con prácticas de agricultura de conservación. Debido a altas temperaturas que prevalecieron y escasez de agua, el cultivo no se desarrolló bien, por lo cual a fines de agosto se rastreó el suelo y éste se preparó para volver a establecer al inicio de septiembre de 2024 el ensayo con calabacita. En el sistema de producción 1, se incorporó al suelo y se efectuaron todas las labores de labranza. En el sistema de cultivo 2, sólo se rastreó y se remarcaron los surcos.

Se sembró la variedad de calabacita “Adelita” de la empresa SEMINIS. La fecha de siembra fue el 2 de septiembre. Se sembró En sucos de 0.75 cm de ancho, a una distancia entre surcos entre plantas de 45 cm (Figura 3). La población se estimó en 30, 000 plantas ha^{-1}. La fuente fertilización orgánica fue composta de porcino y la fuente de fertilización química fue urea. Se aplicaron tres riegos a los dos riegos. Para la nacencia

hubo lluvia, el primer riego se aplicó a los 25 días de la siembra y el segundo 50 días de la siembra. Se efectuaron deshierbes manuales y mecánicos. Para control de trips y mosca blanca se aplicó el insecticida Imidacloprit a razón de 1 L ha^{-1}.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos

Trat.	Sistemas de cultivo	Estiércol	Composta	Lombricompost	Urea
			t ha^{-1}		U ha^{-1}
1	Tradicional	0	0	0	0
2	"	3.6	0	0	175
3	"	7.2	0	0	175
4	"	0	3.6	0	175
5	"	0	7.2	0	175
6	"	0	0	3.6	175
7	"	0	0	7.2	175
8	"	0	0	0	350
9	Conservación	0	0	0	0
10	"	3.6	0	0	175
11	"	7.2	0	0	175
12	"	0	3.6	0	175
13	"	0	7.2	0	175
14	"	0	0	3.6	175
15	"	0	0	7.2	175
16	"	0	0	0	350

U: unidades

Variables evaluadas

Temperatura y precipitación: Se registraron datos diarios de temperaturas máximas y mínimas, así como la precipitación, mediante una estación meteorológica automatizada.

Número de frutos y peso de frutos: Se efectuaron 16 cortes a partir del 10 de octubre, un corte cada tercer día, es decir, a los 38 días después de la siembra. Las unidades de conteo fueron de 1 m^2 que estaba constituido por tres plantas de calabacita. Se contó el número de frutos y se registró su peso en cada corte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El año 2024 fue seco y extremadamente caluroso. Las temperaturas máximas extremas alcanzaron 40 °C durante mayo, mientras que las temperaturas mínimas extremas descendieron hasta 2.4 °C en diciembre (Figura 1). La precipitación anual fue de 388.2 mm distribuida principalmente de junio a septiembre. Hubo dos lluvias ocasionales los días 16 y 17 de febrero, que sumaron 14.2 mm, y una lluvia extraordinaria de más de 41 mm que cayó el 30 de noviembre. La temperatura media mensual más alta fue en mayo, con 26.6 °C, el mes más caluroso del año (Figura 2). La temperatura media anual fue de 21.4 °C, es decir, 0.8 °C por encima de promedio mensual para la región (García, 1984). Por otra parte, 84.5 % de la precipitación (328.1 mm) cayó

entre junio y septiembre. El volumen de precipitación en 2024 estuvo muy por debajo del promedio mensual de la región, que es de 597 mm (García, 1984).

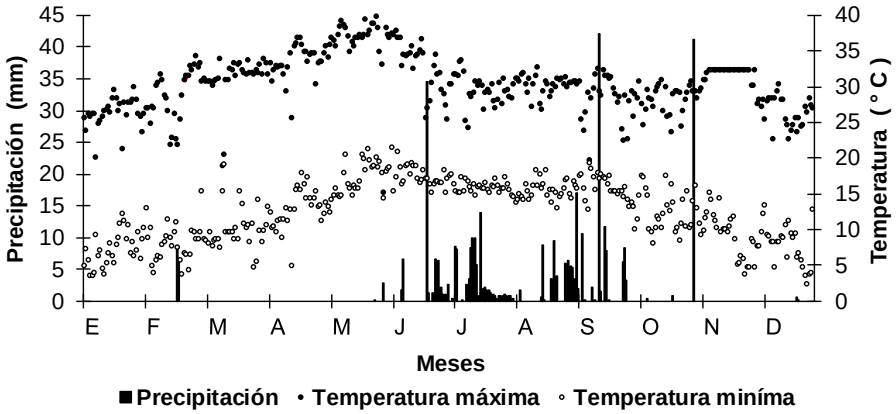


Figura 1. Distribución de temperaturas máximas, mínimas y precipitación durante 2024. Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. Celaya, Guanajuato.

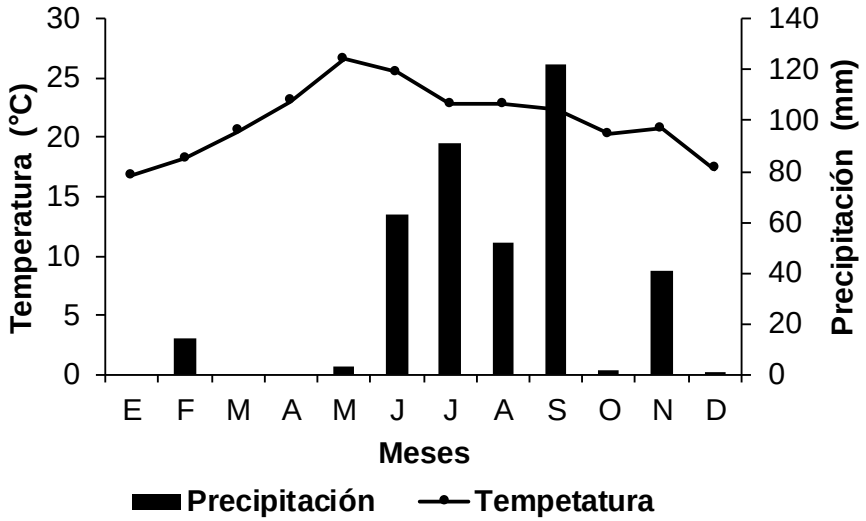


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio.

Número de frutos y producción por tratamientos. Los resultados en la producción de número de frutos y rendimiento en 16 cortes, efectuados a lo largo del ciclo de cultivo, se presentan en las Figuras 3 y 4, respectivamente. El primer corte de calabacita se efectuó el 10 de octubre, mientras que el último se realizó el 9 de noviembre. No hubo diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos. Lo anterior muestra una ventaja en el rendimiento de esta hortaliza, tanto por el sistema de cultivo, como por la aplicación de los abonos orgánicos. El número de frutos por corte, de primera y segunda calidad, fluctuó entre 20 y 150 frutos ha^{-1}, mientras que el rendimiento por corte de calabacita de primera y segunda clase, en suma, fue de 20 t ha^{-1}, en su nivel de producción más bajo, y hasta 30 t ha^{-1}, en su nivel de producción más alto. De manera general, el nivel de producción fue alto, comparable a lo que se obtiene en sistemas de producción en malla-sombra, con

condiciones más controladas (Román-Román, et al., 2022), sin considerar además que la polinización en este ensayo ocurrió de manera natural. Este nivel de producción también ha sido reportado por Aguilar-Carpio et al. (2022). Se observó que hubo una alta variación de la respuesta de la planta, en cuanto a producción de número de frutos y rendimiento, lo cual es normal en condiciones de campo.

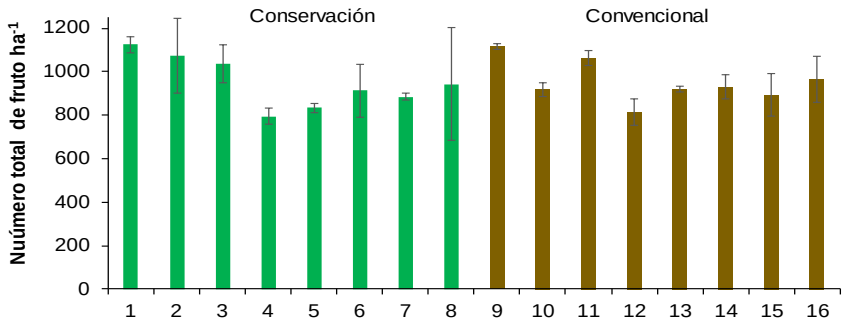


Figura 3. Producción total de frutos de primera y segunda calidad.

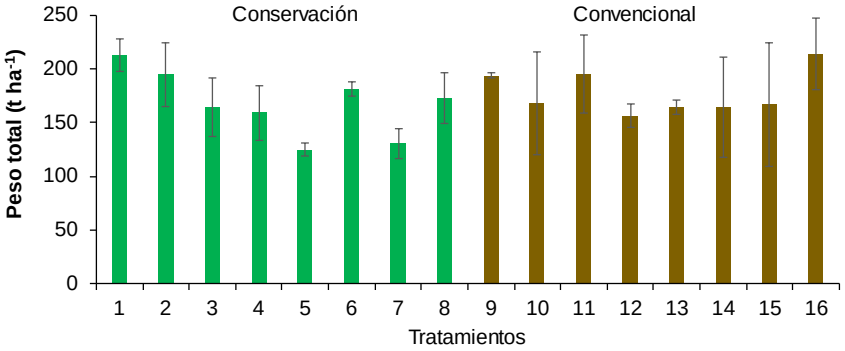


Figura 4. Peso total de calabacita de primera y segunda calidad.

La producción total de frutos fluctuó alrededor de 800 y 1200 unidades ha^{-1}; mientras tanto los rendimientos fluctuaron entre 150 y 200 t ha^{-1}, lo cual puede considerarse alto. Los frutos de primera calidad tuvieron en promedio un diámetro de 3.9 cm y una longitud de 11.8 cm, con un peso aproximado de 88 g. Los frutos de segunda calidad tuvieron en promedio un diámetro de 4.8 cm y una longitud de 14.9 cm, con un peso de 151 g.

Producción por sistema de cultivo. La producción de frutos y rendimiento de calabacita fue semejante estadísticamente ($p<0.05$) a nivel de sistema de cultivo; ambos tuvieron en promedio alrededor de 1000 frutos ha^{-1}, mientras que el peso total de fruta fue de 175 en el sistema de cultivo convencional y 180 t ha^{-1} en sistema de cultivo de conservación, pero estadísticamente fueron semejantes ($p<0.05$) (Figura 5). Se observó una mediana relación entre número de frutos y peso de calabacita ($R2=0.54$); sin embargo, el grado de asociación entre estas variables fue estrecho ($r=0.75$) (Figura 6).

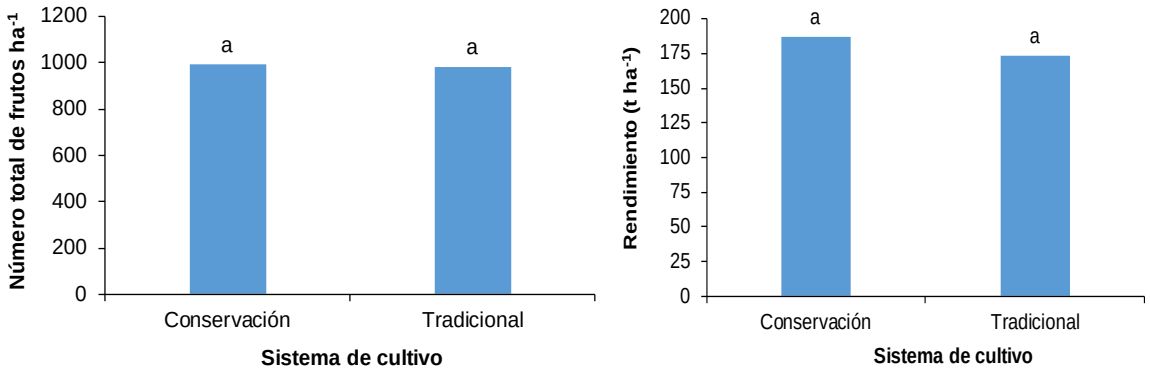


Figura 5. Producción de frutos y peso de calabacita por sistema de cultivo.

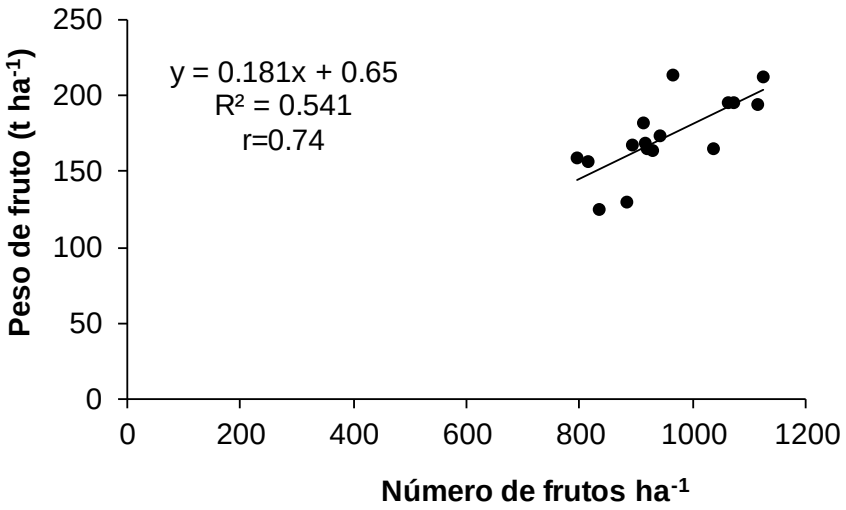


Figura 6. Relación entre número de frutos y peso de calabacita.

CONCLUSIONES

Los tratamientos nos indicaron que existen diferencias significativas en cuanto a sistema de producción y nivel de tratamientos cuyas dosis oscilaron entre 140 a 210 ha^{-1} , Los tratamientos con fertilizante sintético (Urea) registraron los rendimientos mas altos, llegando a un máximo de 200 t ha^{-1}, no obstante, los tratamientos con mezcla de abonos orgánicos y urea presentaron rendimientos significativamente menores, con valores que oscilaron entre 30 y 50 t ha^{-2} , la variabilidad en los rendimientos se atribuyó a la heterogeneidad tanto de las fuentes de fertilización como del contenido nutrimental del suelo. Asimismo, el sistema de agricultura de conservación presento una mayor actividad biológica, condición que se tradujo en incrementos significativos en la productividad.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México *campus* Roque, por las facilidades otorgadas para el establecimiento del experimento. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias por la dirección y co-financiamiento de esta investigación a través del proyecto: "Contribuciones tecnológicas para incrementar la eficiencia de reciclaje de minerales de la granja a la tierra usando opciones nutricionales y de manejo de estiércol en porcicultura".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez-Solís, J.D., D.A. Gómez-Velasco, N.S. León-Martínez, F.A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Agrociencia 44: 575-586.

Aguilar-Carpio, C., Y.F. Cervantes-Adame, P.J. Sorza-Aguilar y J.A. Salvador Escalante-Estrada. 2022. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (Cucurbita pepo L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. Terra Latinoamericana 40:1-10.

Díaz Franco, A., M. Alvarado-Carrillo, F. Alejandro-Allende y F.E. Ortiz-Cháirez. 2016. Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. Rev. Int. Contam. Ambie. 32 (4) 445-453.

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP). 2022. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/.

Dlamini, P.A., M.T. Masarirambi, P.K. Wahome, and M.A. Dzimba. The Effects of Different Tillage Systems and Cultivars on Growth, Yield and Quality of Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) in a Semi-Arid Sub-Tropical Environment. Journal of Plant Studies: 8(2) 49-61.

García, E. 1984. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. pp.16-21.

Govaers, B., K.D. Sayre, B. Goudeseune, and P. De Corte. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. Soil and Tillage Research 103(2):222-230.

Martinetti, L., and F. Paganini. 2016. Effect of organic and mineral fertilization on yield and quality of zucchini. Acta Horticulturae 700(700):125-128.

Obregón-Portocarrero, N., J.E. Díaz-Ortiz, M.C. Daza-Torres, y H.F. Aritizabal-Rodríguez. 2016. Efecto de aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. Acta Agron. 65(1):24-30.

Román-Román, L., F. Ayala-Tafoya, J.M. Parra-Delgado, T. Díaz-Valdés, C.A. López-Orona y T. de J. Velázquez-Alcaraz. 2022. Producción de calabacita con y sin polinización manual en condiciones de casa malla. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 45 (2):165-172.

Rossi, G., S. Socciarelli, R. Aromolo, A. Ciampa, C. Beni. The effects of mineral and organic fertilizers on zucchini (Cucurbita pepo L.) investigated by multiparameters analyses and magnetic resonance imaging (MRI). Agrochimica 60(4): 275-287.

Sanjuán, P. J. y S.N. Moreno. 2010. Aplicación de insumos biológicos: una oportunidad para la agricultura sostenible y amigable con el medioambiente. Rev. Colomb. Biotecnol. 12(1):4-7.

Secretaría de Agricultura. 2024. Producción y cultivo de calabacita: Una guía para productores. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/produccion-y-cultivo-de-calabacita-una-guia-para-productores?idiom=es. Fecha de consulta: 02/12/2024.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. https://www.gob.mx/siap. Fecha de consulta:05/12/2024.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DISEÑO DE PROTOTIPO DE SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO

Teresa Wendolin González Sánchez[1]; María Piedad Salazar Martinez[1]; Sergio Arturo García Gutiérrez[1]; Alejandro Guzmán Zazueta[1]; Luis Ramón Sánchez Rico[1]

[1]Tecnológico Nacional de México, TecNM-Roque. Autor de correspondencia: L22980820@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La automatización de sistemas hidropónicos mediante tecnologías IoT representa una alternativa viable para optimizar recursos y mejorar el monitoreo agrícola. El objetivo del presente trabajo fue diseñar un prototipo de sistema hidropónico automatizado basado en IoT para el monitoreo de variables ambientales y el control automático del riego. El sistema fue desarrollado utilizando un microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento, integrando sensores de temperatura y humedad ambiental, sensor de humedad, sensor de nivel de agua, módulo relevador y bomba de agua. La metodología incluyó el diseño electrónico del prototipo, integración de sensores y desarrollo de lógica de control automático. El sistema permite adquirir datos en tiempo real y activar automáticamente la bomba de agua según las condiciones detectadas por los sensores. Como resultado, se obtuvo un prototipo funcional capaz de automatizar el monitoreo y control básico de un sistema hidropónico mediante componentes de bajo costo y fácil integración. Se concluye que el diseño propuesto constituye una alternativa viable para aplicaciones de agricultura inteligente y representa una base para futuras implementaciones orientadas a optimizar la producción hidropónica.

Palabras clave: *hidroponía, IoT, automatización, ESP32, monitoreo.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta importantes desafíos relacionados con el incremento de la demanda alimentaria y la disminución de recursos naturales disponibles. En este contexto, la hidroponía se ha consolidado como una alternativa eficiente para la producción agrícola, debido a que permite cultivar plantas sin necesidad de suelo mediante el uso de soluciones nutritivas controladas (Resh, 2013).

Uno de los principales retos de los sistemas hidropónicos es el monitoreo constante de variables ambientales y operativas, tales como temperatura, humedad, nivel de agua y condiciones del sistema de riego. La supervisión manual de estos parámetros puede generar errores humanos y afectar la eficiencia del cultivo (Jones, 2005).

El desarrollo de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) ha permitido implementar soluciones de automatización agrícola mediante sensores, microcontroladores y sistemas de monitoreo remoto capaces de recopilar y procesar información en tiempo real (Wolfert et al., 2017).

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un prototipo de sistema hidropónico automatizado basado en IoT, utilizando un microcontrolador ESP32 para el monitoreo de variables ambientales y el control automático de una bomba de agua mediante sensores y actuadores integrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del prototipo se realizó en el aula de Tecnologías de la Información del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, Extensión Apaseo el Alto. El sistema fue diseñado utilizando un microcontrolador ESP32 como unidad principal de procesamiento y control, seleccionado por su conectividad Wi-Fi integrada y compatibilidad con sensores digitales y analógicos (Arduino, s.f.).

El prototipo integró un sensor DHT11 para la medición de temperatura y humedad ambiental, un sensor de humedad, sensor de nivel de agua, módulo relevador de un canal y una bomba de agua DC. Los componentes fueron interconectados mediante conexiones directas al ESP32 para permitir la adquisición de datos y el control automático del sistema de riego. La programación del sistema se realizó mediante Arduino IDE utilizando lenguaje C++. Se implementaron rutinas de adquisición de datos, procesamiento de señales y activación automática de la bomba de agua mediante el módulo relevador.

Arquitectura del sistema. La arquitectura del prototipo se diseñó bajo un enfoque modular basado en IoT, donde el ESP32 funciona como unidad central encargada de la adquisición, procesamiento y control de datos. Los sensores conectados permiten obtener información ambiental en tiempo real, mientras que el módulo relevador actúa como interfaz de control para la activación de la bomba hidráulica.

El flujo de funcionamiento inicia con la lectura periódica de los sensores. Posteriormente, el microcontrolador procesa la información y determina si las condiciones registradas requieren activar el sistema de riego. En caso necesario, el ESP32 envía una señal digital al módulo relevador para encender la bomba de agua. La arquitectura implementada permite futuras ampliaciones mediante la incorporación de nuevos sensores y plataformas de monitoreo remoto, favoreciendo la escalabilidad del sistema y su aplicación en agricultura inteligente.

Cuadro 1. Componentes principales utilizados en el prototipo.

Componente	Función
ESP32	Procesamiento y control del sistema
Sensor DHT11	Medición de temperatura y humedad
Sensor de humedad	Detección de humedad
Sensor de nivel de agua	Monitoreo del nivel de agua
Módulo relevador	Activación de la bomba
Bomba de agua DC	Circulación de agua

Fuente de alimentación	Suministro energético

El funcionamiento del sistema consiste en la lectura periódica de los sensores conectados al ESP32. Cuando los valores detectados indican niveles bajos de humedad o requieren circulación de agua, el sistema activa automáticamente la bomba hidráulica. Una vez alcanzadas las condiciones adecuadas, el sistema desactiva el actuador de manera automática.

Para la visualización de información se contempló el desarrollo de una interfaz web utilizando HTML5, CSS3 y JavaScript. Asimismo, se consideró la implementación futura de Node.js y Chart.js para la visualización y almacenamiento de datos en tiempo real (Node.js, s.f.; Chart.js, s.f.). El diseño también contempla futuras integraciones de sensores de pH, conductividad eléctrica e intensidad lumínica con el propósito de ampliar la capacidad de monitoreo del sistema hidropónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo desarrollado permitió integrar de manera funcional sensores, actuadores y módulos de control dentro de una arquitectura basada en IoT. El sistema fue capaz de monitorear variables ambientales y activar automáticamente la bomba de agua mediante el módulo relevador, permitiendo automatizar parcialmente el funcionamiento del sistema hidropónico.

Uno de los principales aportes del prototipo es el uso de componentes electrónicos de bajo costo y fácil integración, lo que favorece el desarrollo de soluciones accesibles para pequeños productores y aplicaciones educativas relacionadas con agricultura inteligente.

La utilización del ESP32 proporciona ventajas importantes debido a su conectividad inalámbrica y capacidad de procesamiento local, permitiendo futuras ampliaciones hacia plataformas de monitoreo remoto y almacenamiento de datos en la nube, coincidiendo con tendencias actuales de automatización agrícola (Verdouw et al., 2016).

El diseño propuesto facilita la integración de sensores y actuadores mediante conexiones simples, lo cual reduce la complejidad de instalación y representa una ventaja importante frente a sistemas convencionales que requieren configuraciones técnicas avanzadas.

Asimismo, el diseño del prototipo favorece la implementación de sistemas de agricultura inteligente orientados al uso eficiente de recursos hídricos y energéticos. La automatización del sistema de riego permite disminuir la intervención manual y mejorar la estabilidad operativa del cultivo hidropónico.

En comparación con sistemas hidropónicos tradicionales, la propuesta desarrollada ofrece ventajas relacionadas con monitoreo continuo, capacidad de expansión tecnológica y reducción de costos de implementación mediante el uso de hardware de código abierto y componentes comerciales de bajo costo.
El enfoque modular también facilita el mantenimiento y sustitución de componentes electrónicos, permitiendo adaptar el sistema a diferentes configuraciones de cultivo y necesidades de producción agrícola.
Como limitación del trabajo, el sistema requiere pruebas experimentales prolongadas en condiciones reales de cultivo para validar la precisión de los sensores y la estabilidad operativa del prototipo. Asimismo, será necesario evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones ambientales y tipos de cultivo hidropónico.

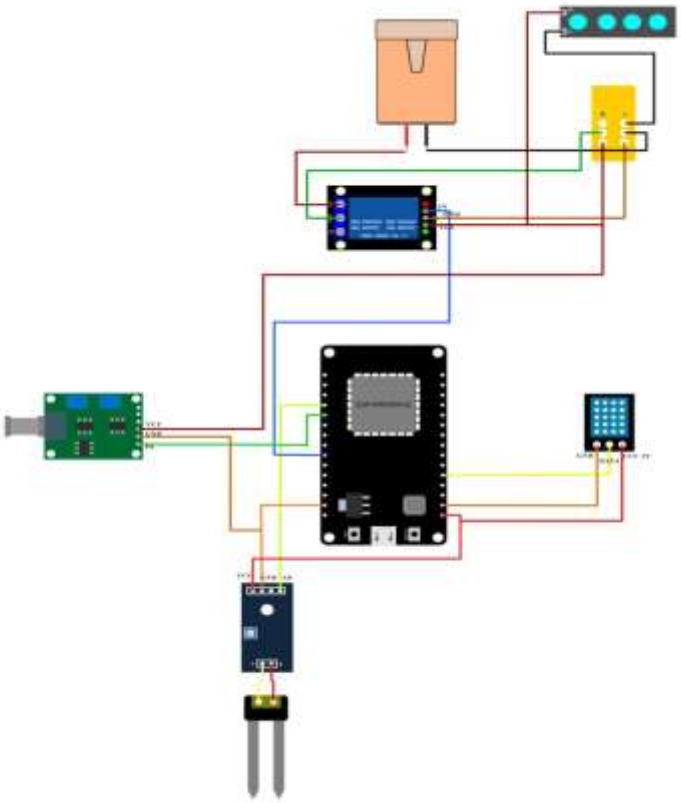


Figura 4. Diseño electrónico del prototipo hidropónico automatizado basado en ESP32.

Como trabajo futuro se contempla la incorporación de conectividad en la nube para monitoreo remoto mediante dispositivos móviles. Asimismo, se prevé integrar sensores de pH, conductividad eléctrica e intensidad lumínica para ampliar la capacidad de análisis del sistema.

También se considera implementar algoritmos de control inteligente basados en aprendizaje automático con el propósito de optimizar automáticamente las condiciones del cultivo hidropónico.

CONCLUSIONES

El diseño de un prototipo de sistema hidropónico automatizado basado en IoT representa una alternativa viable para la automatización de procesos agrícolas mediante tecnologías embebidas.

La integración de sensores ambientales, control automático de riego y monitoreo mediante ESP32 permite mejorar la supervisión de variables críticas dentro del sistema hidropónico y optimizar el funcionamiento del cultivo.

El prototipo desarrollado demuestra la factibilidad de implementar soluciones de bajo costo orientadas a la agricultura inteligente, contribuyendo al uso eficiente de recursos y a la automatización de sistemas hidropónicos.

Como trabajo futuro se contempla la incorporación de sensores adicionales, conectividad en la nube, almacenamiento histórico de datos y algoritmos inteligentes para optimización automática del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Kodmany, K. (2018). *The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city*. Buildings, 8(2), 24. https://doi.org/10.3390/buildings8020024

Arduino. (s.f.). *Arduino IDE*. Arduino. Recuperado de https://www.arduino.cc/en/software

Banerjee, C., & Adenaeuer, L. (2014). *Up, up and away! The economics of vertical farming*. Journal of Agricultural Studies, 2(1), 40–60. https://doi.org/10.5296/jas.v2i1.4526

Chart.js. (s.f.). *Chart.js documentation*. Recuperado de https://www.chartjs.org/docs/latest/

Express.js. (s.f.). *Express.js documentation*. Recuperado de https://expressjs.com/

Jones, J. B. (2005). *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower* (2nd ed.). CRC Press.

Node.js. (s.f.). *Node.js documentation*. Recuperado de https://nodejs.org/en/docs

Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower* (7th ed.). CRC Press.

SQLite. (s.f.). *SQLite documentation*. Recuperado de https://www.sqlite.org/docs.html

Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). *Virtualization of food supply chains with the internet of things*. Journal of Food Engineering, 176, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.009

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). *Big data in smart farming: A review*. Agricultural Systems, 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE CON UN SISTEMA HIDROPONICO MAIZ (*Zea mays* L.) VERTICAL AUTOMATIZADO (PRELIMINAR)

José Roberto Augusto Dorantes Gonzalez[1]; Juan José García Rodriguez[1]; Davino Pérez Mendoza[2]; Bryan Fernando Ramos Gutiérrez[3]

[1]Investigador de Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Celaya-San Miguel de Allende, 37765 San Miguel de Allende, Guanajuato, [3] Docente en Instituto Tecnológico Nacional De Mexico Campus – Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas. [3]Instituto Tecnológico Nacional de Mexico Campus -Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, C.P. 38110; §Autor de correspondencia: l22980025@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se basa en el desarrollo y construcción de un prototipo funcional de un huerto hidropónico vertical automatizado capaz de trabajar en exteriores e interiores. El objetivo es evaluar son las variables de densidad de siembra, además del prototipo, se ha generado un panel de control que permite al usuario controlar el huerto de forma remota y producir alimento fresco para animales en un periodo corto, generalmente de 7 a 14 días, destacándose por su alta digestibilidad y valor nutricional, el prototipo no es totalmente autosuficiente ya que tiene que contar con una alimentación eléctrica. Con un "TIMER" se hizo el uso eficaz y preciso del agua para el sistema de aspersión, para esto primero se generaron pruebas de programación para así poder encontrar en la programación la cantidad de veces en la que el sistema se encenderá y apagará (2 minutos en 20 repeticiones del día 40 min/día, Se utilizo también de una bomba de ½ HP la cual generará la presión necesaria para poder alimentar la estructura de 4 niveles verticales y 20 aspersores (5 en cada nivel), además también el agua se reciclará ya una vez utilizada para posteriores riegos sobre el mismo sistema. Para la producción de forraje utilizamos maíz blanco comercial en donde realizaron tres tratamientos con pesos diferentes de semilla de maíz ½ kilo, 750 gramos y 1 kilogramo por charola. Con este proyecto es crucial optimizar la producción de forrajes basándose en tres ejes: rendimiento, calidad nutricional y sanidad.

Palabras clave: *Hidroponía, timer, Cultivo, forraje, eficiencia, producción*

ABSTRACT

This work focuses on the development and construction of a functional prototype of an automated vertical hydroponic garden capable of operating both indoors and outdoors. In addition to the prototype, a control panel has been created that allows the user to remotely monitor and control the garden. This system produces fresh animal feed in a short period, typically 7 to 14 days, notable for its high digestibility and nutritional value. The prototype is not entirely self-sufficient, as it requires a power supply. A timer was used to ensure the efficient

and precise use of water for the sprinkler system. To achieve this, programming tests were first conducted to determine the optimal number of times the system would turn on and off (2 minutes for 20 repetitions per day, totaling 40 minutes per day). In addition, it is important to recognize the use of a 1/2 horsepower pump, which will generate the necessary pressure to supply the four-level vertical structure with 20 sprinklers (5 per level). The water will also be recycled after use for subsequent irrigation within the same system. Commercial white corn was used for forage production, with three treatments conducted using different seed weights: 1/2 kg, 750 grams, and 1 kg per tray. This project aims to optimize forage production based on three key aspects: yield, nutritional quality, and plant health.

Keywords: *Hydroponics, timer, cultivation, forage, efficiency, production*

INTRODUCCIÓN

El ensilado de maíz representa entre el 35 y 45% de la base seca de la dieta del ganado (Santana, 2018). El nivel de inclusión depende del rendimiento de forraje y la calidad forrajera. Algunos trabajos reportan que es posible llegar al 55% de ensilado de maíz en la dieta y sostener producciones diarias de 45 litros por vaca al día (Akins y Shaver, 2014). Sin embargo, para llegar esa producción con ese porcentaje de ensilado en la dieta, es necesario: a) Lograr alto rendimiento para asegurar inventario de forraje, b) El ensilado tenga alta digestibilidad de la fibra y sea denso en energía. Por consiguiente, el reto es incrementar el rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero ya que el volumen de producción sigue muy por debajo del potencial productivo. Aunque existe genética y tecnología disponible para alcanzar alto rendimiento, Considerando todo lo anterior y los escenarios futuros de la producción de carne y leche, es crucial optimizar la producción de forrajes basándose en tres ejes: rendimiento, calidad nutricional y sanidad. (Santana, 2018).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el cultivo de forraje verde hidropónico (FVH) de maíz esto es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación de semillas de maíz, cultivadas sin suelo y bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y luz. Este sistema permite producir alimento fresco para animales en un periodo corto, generalmente de 7 a 14 días, destacándose por su alta digestibilidad y valor nutricional, para este proyecto se realizó una estructura diseñada para mantener la humedad en las semillas favorecer un crecimiento rápido y uniforme del forraje (Santana, 2018). De acuerdo a los objetivos planteados, variables a evaluar, tratamientos y el sistema utilizado se plantearon diferentes tipos de hipótesis de acorde a su enfoque; la hipótesis planteadas en la investigación se enfoca en evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra de maíz sobre la producción y calidad del forraje verde hidropónico bajo un sistema automatizado de riego. Se plantea que una densidad intermedia de siembra, correspondiente a 750 gramos de semilla por charola, permita optimizar la producción de materia verde y la altura de las plantas,

superando la eficiencia biológica observada en el tratamiento de 0.5 kg y evitando los problemas de competencia por espacio y recursos que podrían presentarse en el tratamiento de 1 kg. Asimismo, se considera la posibilidad de que el tratamiento con mayor densidad de siembra, equivalente a 1 kilogramo por charola, produzca la mayor cantidad de biomasa total debido al incremento en el número de semillas establecidas, bajo el régimen automatizado de riego por aspersión de 40 minutos diarios. Por otro lado, también se plantea que las menores densidades de siembra, particularmente los tratamientos de 0.5 kg y 750 gramos por charola, favorecerán un mejor desarrollo morfológico de las plántulas, reflejado en una mayor altura de planta y una mejor proporción raíz/parte aérea, debido a la menor competencia por agua, espacio y oxigenación dentro de las charolas. En contraste, la hipótesis nula se establece que las diferentes cantidades de semilla utilizadas por charola no presentan diferencias significativas en variables como el peso de la biomasa obtenida, la altura de la planta ni la proporción raíz/parte aérea del forraje verde hidropónico de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de materiales y herramientas. En la primera etapa se realizó la selección adquisición de los materiales necesarios para la construcción del módulo hidropónico. Entre los materiales utilizados se incluyeron tubos de PVC, conectores de manguera hembra PVC, codos de media de 90, conectores macho de rosca de media, llaves, pegamento especial para PVC, bomba de agua, barril de almacenamiento de agua, micro aspersores, manguera de 10 m de media, pichancha, charolas para germinación y estructura metálica. Así mismo, se utilizaron herramientas de medición, corte y ensamblaje para facilitar la instalación del sistema hidráulico.

Construcción y acondicionamiento de la estructura. La estructura metálica fue diseñada para sostener 20 charolas distribuidas en cuatro niveles, con la finalidad de aprovechar eficientemente el espacio disponible para la producción de FVH. Antes del ensamblaje definitivo, la estructura fue pintada. Este procedimiento para aumentar la durabilidad de la estructura y protegerla de la humedad generada durante el funcionamiento del sistema de riego. Una vez aplicada la pintura, se dejó secar completamente para continuar con la instalación del sistema.

Corte y ensamblaje de la tubería PVC. Posteriormente se realizaron las mediciones correspondientes para determinar las dimensiones requeridas de la tubería PVC que conformaría el sistema hidráulico. Los tubos fueron cortados de acuerdo con el diseño previamente establecido para permitir la correcta distribución del agua hacia cada nivel de producción. Después del corte, las conexiones y tuberías fueron ensambladas utilizando pegamento especial para PVC, garantizando un sellado hermético y evitando fugas de agua o pérdidas de

presión dentro del sistema. Las uniones permanecieron en reposo el tiempo necesario para asegurar el secado y fijación adecuada del adhesivo.

Instalación del sistema de riego. Una vez ensamblada la red hidráulica, se instalaron los micro aspersores Boquillas de 0.2 milímetros con un gasto de 35 a 45 mL por minuto, 2.1 a. 2.7 LPH en la parte superior de cada nivel de la estructura, con el objetivo de distribuir el agua de manera uniforme sobre las charolas de germinación. también se colocó la manguera de distribución con un diámetro de 1 pulgada.

Prueba y calibración de la bomba de agua. Posteriormente se realizaron pruebas de funcionamiento de la bomba hidráulica para verificar que contara con la presión suficiente para abastecer correctamente los cuatro niveles del módulo hidropónico. Las pruebas permitieron realizar ajustes en el sistema hasta asegurar que la bomba proporcionara la fuerza necesaria para un riego homogéneo en todas las charolas de producción ya que se notaron distintas fallas, como el taponamiento de goteros por el pegamento que se utilizó para pegar los tubos de PVC, al igual la bomba que se utilizó en un principio no tenía la presión que se requería.

Tratamiento, siembra, germinación y producción de forraje. Se empleará semilla de maíz blanco comercial, se establecerá tres tratamientos los cuales serán en una primera instancia, tres pesos diferentes de semilla de maíz; a) ½ kilo, b) 750 gramos, c) 1 kilogramo por charola, se establecerán 6 repeticiones distribuidas en los diferentes niveles de la estructura. Para descartar los efectos de posición. Se realizará un análisis ce bloques completos al azar y un análisis de bloques incompletos para comparar cuál de los dos métodos es el de mayor eficiencia para discriminar las diferencias debidas a los tratamientos.

Se tomará en cuenta los siguientes factores: a) Peso de la semilla en seco kilogramos, b) Peso de la semilla en húmedo kilogramos, c) Peso de la materia obtenida representada en kilogramos, d) Altura de planta representada en centímetros, d) Proporción raíz parte aérea representada en gramos. La semilla se sumergerán en una solución de agua con cloro al 2% y posterior al enjuagado se dejará remojando durante 24 horas, el llenado de charolas con el contenido de semillas de cada uno de los tratamientos, se aplicará un litro de agua por charola por día, empleando la frecuencia de encendido que dio la programación del timer.



Descripción del Prototipo

En la figura del prototipo se muestra un sistema de riego automatizado para forraje verde hidropónico de maíz. El diseño consiste en una estructura vertical de cuatro niveles con veinte charolas donde se cultiva el maíz, mediante hidroponía. El sistema utiliza microaspersiones conectados a una bomba y un tanque de 200 litros que distribuyen el agua de manera uniforme sobre las bandejas.

Además, cuenta con un filtro para evitar obstrucciones y un temporizador digital que automatiza los ciclos de riego, mejorando la eficiencia del sistema. El exceso de agua es recolectado mediante un canal de drenaje para su reutilización, permitiendo ahorrar agua y reducir desperdicios.

Este prototipo está diseñado para optimizar espacio, consumo de agua y producción de forraje, siendo una alternativa sustentable y eficiente para la alimentación animal.

Figuras de la estructura final



Figura 1. Componentes básicos para la fuente de agua: a) Depósito de 200 litros de agua, manguera para conectar la fuente de agua, c) orificio al depósito de agua para conección de pichancha.



Figura 2. Componentes para el bombeo de agua: a) pichancha, b) bomba de presión, c) entrada y salida de agua hacia la bomba



Figura 3. Sistema de conección y timer: a) Tubo de entrada de pichancha hacia el bote de 200 litros, b) Timer por la parte frontal, c) Timer por la parte posterior.



Figura 4. Estructura final del estante con los componentes básicos para la producción de forraje verde hidropónico (sistema con aspersores, tubos de PVC y charolas de germinación).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de un sistema hidropónico vertical automatizado para la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz demuestra ser una alternativa viable para mitigar la baja productividad del sector forrajero convencional mencionada por Santana (2018). Al estabilizar los tiempos de riego mediante un temporizador (2 minutos, 20 veces al día) y asegurar un volumen constante de 1 litro de agua por charola al día, se eliminan las fluctuaciones de estrés hídrico que ocurren en campo abierto.

Al confrontar los resultados del peso de biomasa con la literatura, la alta densidad en el tratamiento de 1 kg podría emular lo descrito por la FAO (2001), donde se destaca la máxima optimización del espacio. Sin embargo, la competencia intraespecífica observada en las etapas finales del crecimiento (reflejada en una menor altura individual en el tratamiento de 1 kg) coincide con estudios previos de SciELO (2009), los cuales advierten que densidades excesivas saturan la superficie de la charola, limitando la oxigenación radicular y propiciando condiciones de alta humedad que ponen en riesgo la sanidad del cultivo.

Por otro lado, la similitud en el desarrollo del forraje en los distintos niveles de la estructura validaría la calibración final de la bomba de 0.5 HP. Esto demuestra que, tras solucionar los taponamientos iniciales provocados por el pegamento de PVC , la presión de los 20 micro aspersores se estabilizó de manera homogénea. El reciclaje del agua drenada no solo incrementa la eficiencia del recurso hídrico en comparación con la agricultura tradicional, sino que también mantiene la humedad necesaria para un crecimiento acelerado y uniforme sin el uso de suelo, cumpliendo con el objetivo principal de este prototipo vertical.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Presupuesto de material y equipo para la construcción de uin anaquel para la producción de forraje verde.

Material / Equipo	Cantidad	Porcentaje de avance
Tubos de PVC	2	100%
Conectores de manguera hembra PVC	6	100%
Codos de media de 90°	2	100%
Conectores macho de rosca de media	9	100%
Llaves hidráulicas	2	100%
Pegamento especial para PVC	1	100%
Bomba de agua de ½ HP	1	100%
Barril / bote de almacenamiento de agua de 200 L	1	100%
Micro aspersores	20	100%
Manguera de media pulgada (10 m)	1	100%
Pichancha	1	100%
Charolas para germinación	20	100%
Estructura metálica vertical	1	100%
Temporizador digital (TIMER)	1	100%
Sistema de drenaje y reciclaje de agua	1	100%
Filtro para agua	1	100%
Pintura para estructura metálica	4	100%
Herramientas de medición	2	100%
Herramientas de corte	1	100%
Herramientas de ensamblaje	1	100%
Semilla de maíz blanco comercial	2.250 kg	20%
Solución de agua con cloro al 2%	2 L	20%

CONCLUSIONES

La conclusión es el rendimiento óptimo para el tratamiento intermedio de 750 gramos de semilla por charola. Este tratamiento demostró ser el más eficiente, ya que logra equilibrar un buen rendimiento de materia verde y una mayor altura de las plantas.

Por el contrario, aunque la densidad de 1 kilogramo produce una mayor biomasa total debido al gran volumen de semillas, provoca una fuerte competencia interna entre las plantas. Esta saturación limita la oxigenación de las raíces y genera un exceso de humedad que pone en riesgo la sanidad del cultivo y frena el crecimiento individual de las plántulas. Por lo tanto, para optimizar el espacio y los recursos sin comprometer la salud del forraje, la densidad de 750 gramos es la opción ideal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

David, S. G. A. (2026, 16 febrero). *Sistema de dosificación de fertilizantes y control de riego para cultivos hidropónicos de hortalizas*. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/78856

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2001). Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal. Roma, Italia: FAO.

http://www.fao.org/4/ah472s/ah472s00.htm

López-Aguilar R, B. Murillo-Amador, G. Rodríguez-Quezada. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimentos para el ganado en zonas áridas. INTERCIENCIA.INCI V34, N2, Caracas ISSN 0378-1844 versión impresa

ResearchGate. (s.f.). Producción de forraje verde hidropónico (FVH).

https://www.researchgate.net/publication/275715557

Juárez- López P., H.J. Morales-Rodríguez, M. Sandoval-Villa, A.A. Gómez-Danés, E. Cruz Crespo, C.R. Juárez-Rosete, J. Aguirre-Ortega, G. Alejo-Santiago, M. Ortiz-Catón. 2013. PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO. Revista Fuente nueva época Año 4, No. 13, abril - junio 2013 pp 17-26

SIAP. 2024. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno Federal México. Fecha de consulta: 16 de abril de 2024. http://nube.siap.gob.mx/

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press. 476 pp. Velázquez Valle R., J. Mena Covarrubias, L. R. Reveles Torres. 2016.

Presencia de chicharritas (Hemiptera: Cicadellidae) durante el invierno en Zacatecas y Aguascalientes. Folleto Técnico No. 78. INIFAP México.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CON UN SISTEMA VERTICAL AUTOMATIZADO (Preliminar)

Juan José García Rodriguez[1]; José Roberto Augusto Dorantes Gonzalez[1]; Davino Pérez Mendoza[2]; Ana Karen Pérez Juarez[3]

[1]Investigador del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Celaya-San Miguel de Allende, 37765 San Miguel de Allende, Guanajuato; [2]Docente del Tecnológico Nacional De México Campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas; [3]Estudiante del Tecnológico Nacional De México Campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas. §Autor de correspondencia: annanerak99@gmail.com

RESUMEN

La producción de forraje verde hidropónico representa una alternativa sustentable para la alimentación animal debido al ahorro de agua, rapidez de producción y aprovechamiento del espacio. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de forraje verde hidropónico de trigo mediante un sistema vertical automatizado en condiciones controladas. El trabajo se desarrolló en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato. Se construyó una estructura metálica de cuatro niveles equipada con un sistema hidráulico automatizado compuesto por micro aspersores, tubería PVC, bomba hidráulica y temporizador digital para controlar la frecuencia de riego. Se utilizarán semillas comerciales de trigo y se establecerán tres tratamientos correspondientes a diferentes cantidades de semilla por charola: 500 g, 750 g y 1 kg. Cada tratamiento contara con seis repeticiones distribuidas aleatoriamente en la estructura. Las variables evaluadas serán peso seco de semilla, peso húmedo, producción de biomasa, altura de planta y relación raíz-parte aérea y contenido proteico. Los resultados obtenidos permitirán observar diferencias en el desarrollo y rendimiento del forraje dependiendo de la cantidad de semilla utilizada. El sistema automatizado permitirá una distribución uniforme del agua y un uso eficiente del recurso hídrico. Se evaluará si la producción de forraje verde hidropónico de trigo mediante sistemas automatizados constituye una alternativa viable para la obtención rápida de alimento fresco para animales.

Palabras clave: *Hidroponía, automatización, trigo, forraje, eficiente*

ABSTRACT

Hydroponic green forage production represents a sustainable alternative for animal feed due to water savings, rapid production, and efficient use of space. The objective of this research was to evaluate the production of hydroponic green wheat forage using an automated vertical system under controlled conditions. The study was carried out at the facilities of the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), located in Celaya, Guanajuato, Mexico. A four-level metal structure equipped with an automated hydraulic

system composed of micro-sprinklers, PVC piping, a hydraulic pump, and a digital timer to control irrigation frequency was constructed. Commercial wheat seeds will be used, and three treatments corresponding to different seed quantities per tray will be established: 500 g, 750 g, and 1 kg. Each treatment will have six replications randomly distributed within the structure. The variables to be evaluated will be dry seed weight, wet weight, biomass production, plant height, and root-to-shoot ratio. The obtained results will allow the observation of differences in forage development and yield depending on the number of seed used. The automated system will allow uniform water distribution and efficient use of water resources. It will be evaluated whether the production of hydroponic green wheat forage through automated systems constitutes a viable alternative for the rapid production of fresh animal feed.

Keywords: *hydroponics, automation, wheat, forage, efficient*

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores apremiantes para la producción agrícola siempre ha sido el agua; sin embargo, en los últimos años, el crecimiento poblacional, el abatimiento de los mantos freáticos y la irregularidad de las precipitaciones han hecho necesario contribuir a un mejor manejo del recurso hídrico (CONAGUA, 2023).

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) representa una alternativa importante para afrontar las dificultades de alimentación en rumiantes en zonas áridas y semiáridas (López , 2009).
El forraje verde hidropónico consiste en la germinación y crecimiento de semillas de cereales bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y luz, sin utilizar suelo agrícola. Entre las especies más utilizadas destacan maíz, cebada y trigo, debido a su rápida germinación y alto valor nutritivo. El trigo (*Triticum aestivum* L.) representa una opción importante para la producción de FVH por su capacidad de generar biomasa uniforme y digestible para la alimentación animal. (FAO, 2001) (CONAGUA, 2023).

Los sistemas automatizados aplicados a la hidroponía permiten optimizar el uso del agua mediante temporizadores y sistemas de riego programados, reduciendo pérdidas y mejorando la eficiencia del sistema. Además, el uso de estructuras verticales facilita el aprovechamiento del espacio disponible y aumenta la capacidad de producción y el aprovechamiento del agua que escurre de los estratos superiores (López Elías;David, S. G. A., 2018,2026).

Diversos estudios han demostrado que los sistemas hidropónicos automatizados pueden incrementar la eficiencia en la producción de forraje y disminuir los costos relacionados con el consumo de agua y mano de obra. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la producción de forraje verde hidropónico de

trigo mediante un sistema vertical automatizado bajo condiciones controladas. (ResearchGate;Acta Universitaria, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la región de Celaya, Guanajuato, México, en las cercanías del Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. El sitio experimental se localiza aproximadamente en las coordenadas 20.58° LN y -100.82° LO, a una altitud promedio de 1,760–1,770 m s.n.m. (Mexico.mx, 2023)

Preparación de materiales y herramientas. En la primera etapa se realizó la selección y adquisición de los materiales necesarios para la construcción del módulo hidropónico. Entre los materiales utilizados se incluyeron tubos de PVC, conectores de manguera hembra PVC, codos de media de 90, conectores macho de rosca de media, llaves ,pegamento especial para PVC, bomba de agua, barril de almacenamiento de agua, micro aspersores, manguera de 10 m de media, pichancha, charolas para germinación y estructura metálica. Así mismo, se utilizaron herramientas de medición, corte y ensamblaje para facilitar la instalación del sistema hidráulico.

Construcción y acondicionamiento de la estructura. La estructura metálica fue diseñada para sostener 20 charolas distribuidas en cuatro niveles, con la finalidad de aprovechar eficientemente el espacio disponible para la producción de FVH. Antes del ensamblaje definitivo, la estructura fue pintada. Este procedimiento para aumentar la durabilidad de la estructura y protegerla de la humedad generada durante el funcionamiento del sistema de riego. Una vez aplicada la pintura, se dejó secar completamente para continuar con la instalación del sistema.

Corte y ensamblaje de la tubería PVC. Posteriormente se realizaron las mediciones correspondientes para determinar las dimensiones requeridas de la tubería PVC que conformaría el sistema hidráulico. Los tubos fueron cortados de acuerdo con el diseño previamente establecido para permitir la correcta distribución del agua hacia cada nivel de producción. Después del corte, las conexiones y tuberías fueron ensambladas utilizando pegamento especial para PVC, garantizando un sellado hermético y evitando fugas de agua o pérdidas de presión dentro del sistema. Las uniones permanecieron en reposo el tiempo necesario para asegurar el secado y fijación adecuada del adhesivo.

Instalación del sistema de riego. Una vez ensamblada la red hidráulica, se instalaron los micro aspersores en la parte superior de cada nivel de la estructura, con el objetivo de distribuir el agua de manera uniforme sobre las charolas de germinación. También se colocó la manguera de distribución

Prueba y calibración de la bomba de agua. Posteriormente se realizaron pruebas de funcionamiento de la bomba hidráulica para verificar que contara con la presión suficiente para abastecer correctamente los cuatro niveles del módulo hidropónico. Las pruebas permitieron realizar ajustes en el sistema hasta asegurar que la bomba proporcionara la fuerza necesaria para un riego homogéneo en todas las charolas de producción ya que se notaron distintas fallas, como el taponamiento de goteros por el pegamento que se utilizó para pegar los tubos de PVC, al igual la bomba que se utilizó, en las primeras pruebas no se obtuvo la presión que se requería, para esto se tuvieron que hacer varias modificaciones

Materiales de prototipo para el proceso de la construcción del estante para la producción de abono verde en trigo.







Figura 1. Medición de tubos para la estructura
Figura 2. Manquera para las conexiones de regreso
Figura 3. Temporizador







Figura 4. Bomba de presión
Figura 5. Pichancha
Figura 6. Micro aspersor



Figura 7. Estructura del sistema hidropónico terminada

Material vegetal y tratamientos. Se utilizará semilla comercial de trigo (*Triticum aestivum* L.). Los tratamientos consistirán en tres cantidades de semilla por charola: 1) T1: 500 g de semilla, 2) T2: 750 g de semilla, 3) T3: 1 kg de semilla. Cada tratamiento contara con seis repeticiones distribuidas aleatoriamente en los diferentes niveles de la estructura.

Manejo de la semilla y producción de forraje. Las semillas serán desinfectadas mediante una solución de agua con cloro al 2% y posteriormente enjuagadas con agua limpia. Después del lavado, las semillas permanecieron en remojo durante 24 horas para favorecer la germinación. Posteriormente, las semillas se colocarán en las charolas correspondientes según el tratamiento establecido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Presupuesto de material y equipo para la construcción de uin anaquel para la producción de forraje verde.

Material / Equipo	Cantidad	Porcentaje de avance
Tubos de PVC	2 tubos de 3 m	100%
Conectores de manguera hembra PVC	6	100%
Codos de media de 90°	2	100%
Conectores macho de rosca de media	9	100%
Llaves hidráulicas	2	100%
Pegamento especial para PVC	1 lata	100%
Bomba de agua de ½ HP	1	100%
Barril / bote de almacenamiento de agua de 200 L	1	100%
Micro aspersores	20	100%
Manguera de media pulgada (10 m)	1	100%

Pichancha	1	100%
Charolas para germinación	20	100%
Estructura metálica vertical	1	100%
Temporizador digital (TIMER)	1	100%
Sistema de drenaje y reciclaje de agua	1	100%
Filtro para agua	1	100%
Pintura para estructura metálica	4	100%
Herramientas de medición	2	100%
Herramientas de corte	1	100%
Herramientas de ensamblaje	1	100%
Semilla de trigo	2.250 kg	20%
Solución de agua con cloro al 2%	2 L	20%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el presente trabajo corresponde a una propuesta de investigación y el sistema aún se encuentra en etapa de implementación y validación, no se cuenta todavía con resultados experimentales definitivos. Sin embargo, durante el proceso de construcción y acondicionamiento del prototipo se identificaron diversas situaciones que permitieron realizar mejoras en el funcionamiento del sistema hidropónico automatizado. Durante las pruebas preliminares del sistema hidráulico se detectaron problemas relacionados con el taponamiento de algunos micro aspersores ocasionados por residuos de pegamento utilizados en las conexiones de PVC. Asimismo, que la bomba hidráulica utilizada no generaba la presión suficiente para abastecer adecuadamente los cuatro niveles de la estructura vertical, provocando una distribución desigual del agua entre las charolas. Debido a ello fue necesario realizar ajustes en las conexiones hidráulicas para mejorar la presión y uniformidad del riego. También se observaron posibles factores que podrían influir en el desarrollo del forraje, como la posición de las charolas dentro de la estructura, la intensidad de humedad en cada nivel y la cantidad de semilla utilizada por tratamiento. Por esta razón, el diseño experimental considera bloques y repeticiones que permitan reducir el efecto de estas variaciones dentro del sistema. Con el desarrollo de esta investigación se espera obtener una producción uniforme de forraje verde hidropónico de trigo, utilizando menores cantidades de agua en comparación con sistemas tradicionales de producción de forraje. Se espera además que el tratamiento intermedio de 750 g de semilla por charola presente un equilibrio adecuado entre producción de biomasa y crecimiento de planta, evitando excesiva competencia entre plántulas. Asimismo, se espera que el sistema automatizado permita optimizar la frecuencia y cantidad de riego mediante el uso del temporizador digital, favoreciendo el ahorro de agua y reduciendo la necesidad de mano de obra constante. De igual forma, se pretende demostrar que la producción de forraje verde hidropónico de trigo puede representar una alternativa sustentable y eficiente para la alimentación animal en zonas con problemas de disponibilidad de agua.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema vertical automatizado para la producción de forraje verde hidropónico de trigo representa una alternativa viable para optimizar el uso del agua y el espacio en la producción de alimento para animales. El diseño del sistema permitió identificar áreas de mejora relacionadas con la presión hidráulica y distribución uniforme del riego, las cuales fueron corregidas durante las pruebas preliminares para favorecer un funcionamiento más eficiente del prototipo. Se espera que la automatización del riego mediante temporizador digital contribuya a reducir el desperdicio de agua y mejorar el manejo del sistema hidropónico. Asimismo, se pretende que el uso de trigo como material vegetal permita obtener una producción rápida y uniforme de biomasa bajo condiciones controladas. Finalmente, este proyecto busca demostrar que la producción de forraje verde hidropónico automatizado puede ser una alternativa sustentable para enfrentar problemas relacionados con la escasez de agua y la necesidad de producir alimento fresco para el sector pecuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CONAGUA. (2023). *Estadísticas del agua en México 2023*. Obtenido de https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-2023-conagua/

CONAGUA. (2023). *Estadísticas del agua en México 2023*. Obtenido de https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-2023-conagua/

FAO. (2001). *Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal*. Obtenido de https://www.fao.org/4/ah472s/ah472s00.htm

López . (2009). *Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidroponico de trigo*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/339/33913156008.pdf

López Elías;David, S. G. A. (2018,2026). *Sistemas hidropónicos y agricultura sostenible*. Obtenido de Sistema de dosificación de fertilizantes y control de riego para cultivos hidropónicos de hortalizas: https://repository.unad.edu.co/handle/10596/78856

Mexico.mx. (2023). *Inifap*. Obtenido de https://mexicoo.mx/inifap-en-celaya-guanajuato-9324630

ResearchGate;Acta Universitaria. (2018). *Producción de forraje verde hidropónico (FVH)*. Obtenido de Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero: https://www.researchgate.net/publication/275715557

https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/844

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

USO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN RGB PARA EVALUAR EL EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE PACLOBUTRAZOL EN PLÁNTULAS DE JITOMATE

*Tadeo F. Ramírez-Linares[1]; Cesar L. Aguirre-Mancilla[1]; Felipe de Jesús Martínez-Gaspar[1] y Juan C. Buenavista-Jaralillo[1].

[1]Tecnológico Nacional de México/IT Roque, Celaya, Guanajuato., México, km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, C. P. 38110. *correo: ramireztadeo225@gmail.com

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica y agrícola en México, por lo que la producción de plántulas de alta calidad representa una etapa fundamental para garantizar un adecuado establecimiento y rendimiento del cultivo. En este sentido, el uso de reguladores de crecimiento, bioestimulantes y herramientas tecnológicas como los índices de vegetación derivados de imágenes RGB ha cobrado relevancia en la evaluación del crecimiento y vigor vegetal. El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre variables agronómicas e índices de vegetación en plántulas de jitomate sometidas a diferentes tratamientos con paclobutrazol (PBZ) y aminoácidos a base de glicina betaína. El experimento se desarrolló en el laboratorio del Tecnológico Nacional de México campus Roque durante el periodo marzo-mayo de 2026, utilizando plántulas establecidas en charolas de almácigo bajo un diseño completamente al azar con siete tratamientos. Se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas en tres muestreos, además de los índices de vegetación GLI, GCC, BCCI y RCC obtenidos mediante análisis de imágenes digitales procesadas con el software ImageJ. Los datos fueron analizados mediante correlaciones de Pearson y Spearman. Los resultados mostraron que el índice BCCI presentó las relaciones más consistentes con las variables agronómicas, particularmente con altura de planta y número de hojas, indicando su potencial como indicador indirecto del vigor vegetal. Asimismo, se observaron altas correlaciones entre algunos índices de vegetación, evidenciando posible redundancia entre ellos. En conclusión, los índices de vegetación RGB representan una herramienta accesible y eficiente para el monitoreo no destructivo de plántulas de jitomate y pueden contribuir al desarrollo de estrategias de evaluación más precisas en sistemas de producción agrícola.

Palabras clave: RGB, PBZ, Jitomate y índices de vegetación.

INTRODUCCIÓN

En México, el jitomate tiene una gran relevancia económica, ya que contribuye con aproximadamente el 21.55% de la producción total de hortalizas a nivel nacional, su consumo interno es significativo, ya que el consumo anual per cápita es de 15.2 kg de acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018). El jitomate constituye uno de los principales productos agrícolas de exportación del país, lo que lo posiciona como un cultivo estratégico dentro del sector agroalimentario. Su producción se distribuye en diversas regiones de México bajo distintos sistemas de cultivo, lo que permite su disponibilidad a lo largo del año y favorece su integración en la dieta diaria de la población. Debido a su importancia económica, alimentaria y social, el estudio de este cultivo resulta fundamental para comprender su impacto en el desarrollo agrícola nacional (Morales-Morales, 2022). La producción de plántulas de alta calidad representa una etapa fundamental en el establecimiento exitoso de los cultivos. La generación de plántulas en almácigo permite optimizar el uso de semillas, reducir el tiempo necesario para alcanzar el desarrollo adecuado previo al trasplante y disminuir las pérdidas durante su establecimiento en campo, cuando las plántulas se desarrollan bajo condiciones adecuadas de nutrición, se incrementa su capacidad de adaptación al entorno definitivo, lo que favorece el rendimiento y la productividad del cultivo (Lazcano-Bello, 2021). Los reguladores del crecimiento vegetal son compuestos químicos que intervienen en el control de los procesos de desarrollo y crecimiento de las plantas. Su aplicación en los cultivos permite modificar el equilibrio hormonal, lo que puede favorecer el incremento del rendimiento, mejorar la tolerancia al estrés abiótico y optimizar diversas características fisiológicas. Entre estos compuestos destaca el paclobutrazol (PBZ), perteneciente al grupo de los triazoles. El efecto del PBZ se relaciona con la modificación de los niveles de fitohormonas clave, como las giberelinas, el ácido abscísico y las citoquininas. Este compuesto actúa sobre la vía de los isoprenoides, inhibiendo la síntesis de giberelinas y promoviendo un aumento en las citoquininas, lo que da lugar a una disminución en la elongación del tallo y a cambios en el desarrollo de la planta (Desta y Amare, 2021).

El uso de aminoácidos ha cobrado relevancia en el manejo de plántulas; estos compuestos participan en procesos metabólicos esenciales, como la síntesis de proteínas y fitohormonas, así como en la respuesta ante condiciones de estrés. Su aplicación favorece la reducción del daño celular, mejora la disponibilidad de nutrimentos esenciales y promueve el desarrollo de sistemas radicales más vigorosos, incrementando el vigor de las plántulas y su capacidad de establecimiento en campo (Queiroz, 2024), lo que aunado a herramientas como los índices de vegetación (IV) pueden hacer más eficiente los ciclos productivos.

Los IV son herramientas utilizadas para evaluar el estado fisiológico y el desarrollo de las plantas mediante el análisis de la información espectral capturada en imágenes. Estos índices se basan en la combinación matemática de diferentes bandas del espectro electromagnético, lo que permite resaltar características como el vigor, la cobertura vegetal y el contenido de clorofila. En particular, los índices derivados de imágenes RGB

han adquirido relevancia debido a su bajo costo, facilidad de adquisición y procesamiento, lo que los convierte en una alternativa accesible para el monitoreo de cultivos (Feng et al., 2020; Yamaguchi et al., 2021).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de diferentes tratamientos, incluyendo aminoácidos y reguladores de crecimiento (paclobutrazol), en el desarrollo de plántulas de jitomate mediante el uso de índices de vegetación derivados de imágenes RGB.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de posgrados del TecNM campus Roque, durante el periodo comprendido entre marzo y mayo de 2026. Para el desarrollo del experimento se utilizaron plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) establecidas en charolas de almácigo, las cuales fueron mantenidas bajo condiciones controladas durante el periodo de evaluación.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, en el cual se evaluaron siete tratamientos diferentes distribuidos en cuatro charolas de almácigo. Cada tratamiento estuvo conformado por más de 20 plántulas, consideradas como unidades experimentales para la obtención y análisis de las variables agronómicas e índices de vegetación. Los tratamientos aplicados consistieron en diferentes dosis de paclobutrazol (PBZ) y aminoácidos a base de glicina betaína. Las dosis correspondientes a cada tratamiento serán especificadas de acuerdo con las concentraciones empleadas durante el desarrollo experimental.

Los tratamientos evaluados consistieron en diferentes concentraciones de paclobutrazol (PBZ) y glicina-betaína (GB). El tratamiento testigo (T0) se mantuvo sin aplicación de PBZ ni glicina-betaína. Los tratamientos aplicados fueron: T1 (0 mM PBZ y 0 mM GB), T2 (0.090 mM PBZ y 0 mM GB), T3 (0.170 mM PBZ y 0 mM GB), T4 (0 mM PBZ y 5 mM GB), T5 (0 mM PBZ y 10 mM GB), T6 (0.090 mM PBZ y 5 mM GB) y T7 (0.170 mM PBZ y 10 mM GB).

Con el propósito de evaluar el crecimiento y desarrollo de las plántulas, se realizaron tres muestreos durante el periodo experimental. En cada uno de los muestreos se registraron variables agronómicas como altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas. La altura de planta se determinó mediante medición directa desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento, mientras que el número de hojas se obtuvo mediante conteo visual de hojas completamente desarrolladas. Para la medición del diámetro del tallo se utilizó un vernier, permitiendo obtener valores más precisos de esta variable estructural.

Para la obtención de los índices de vegetación, se capturaron imágenes digitales de las plántulas utilizando una cámara digital. Posteriormente, las imágenes obtenidas fueron procesadas y analizadas mediante el software

ImageJ, a partir del cual se calcularon los índices de vegetación GLI, GCC, BCCI y RCC. Estos índices fueron utilizados con la finalidad de evaluar el comportamiento fisiológico, el vigor vegetal y las variaciones en la respuesta espectral de las plántulas durante su desarrollo.

Finalmente, los datos generados tanto de las variables agronómicas como de los índices de vegetación fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson y Spearman, con el objetivo de determinar el grado de asociación existente entre las variables evaluadas y analizar la relación entre el crecimiento de las plántulas y la respuesta obtenida mediante los índices de vegetación RGB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las correlaciones obtenidas entre las variables agronómicas y los índices de vegetación mostraron diferentes niveles de asociación durante los muestreos realizados (Figuras 1–5). En el caso de la altura de planta (ALT), el índice GCC presentó correlaciones negativas moderadas a fuertes (-0.54 a -0.65), lo que indica que conforme aumentó la altura de las plántulas, los valores de GCC tendieron a disminuir.

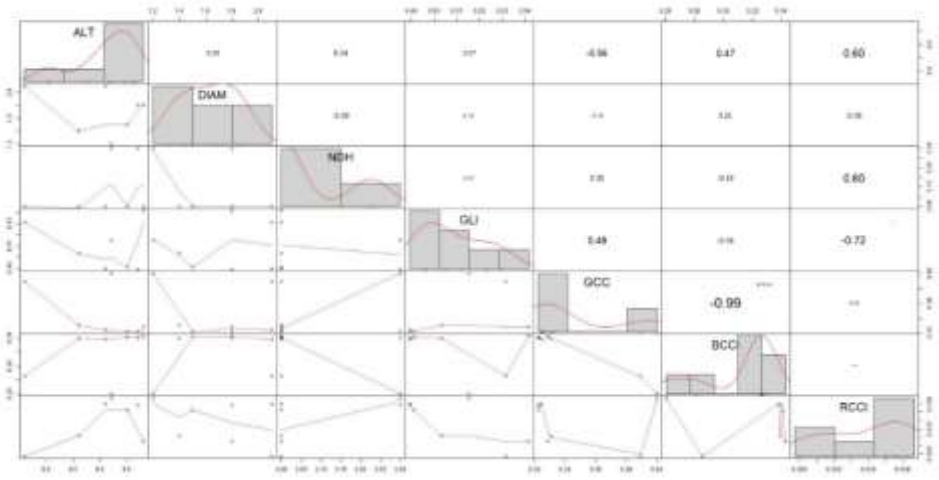


Figura 1. Matriz de correlación de Coeficiente de correlación de Pearson entre variables agronómicas e índices de vegetación durante el primer muestreo.

Por otro lado, el índice BCCI mostró correlaciones positivas moderadas y fuertes con la altura de planta (0.47 a 0.71), sugiriendo una mayor sensibilidad de este índice ante el crecimiento vegetativo de las plántulas, como puede observarse en las matrices de correlación de las Figuras 1 y 2. Estos resultados indican que el BCCI podría utilizarse como un indicador indirecto del vigor y desarrollo vegetal. En contraste, el índice RCCI presentó correlaciones positivas bajas a moderadas con la altura, mientras que GLI mostró asociaciones débiles o negativas, indicando una menor capacidad para explicar las variaciones en esta variable agronómica.

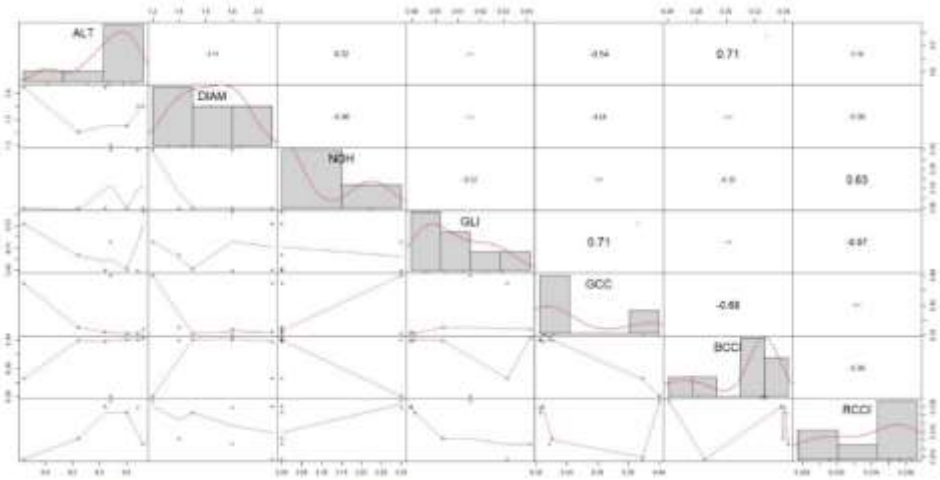


Figura 2. Matriz de correlación de Coeficiente de correlación de Spearman entre variables agronómicas e índices de vegetación durante el primer muestreo.

Respecto al diámetro del tallo (DIAM), las correlaciones obtenidas con los índices de vegetación fueron generalmente bajas, lo que sugiere que dichos índices no reflejan adecuadamente los cambios asociados con esta variable estructural. Sin embargo, se observó una correlación negativa fuerte entre el diámetro y el número de hojas (NDH), alcanzando valores de hasta -0.89 (Figura 5). Este comportamiento podría estar asociado con una redistribución fisiológica del crecimiento de las plántulas, donde el incremento en una variable ocurre a expensas de otra.

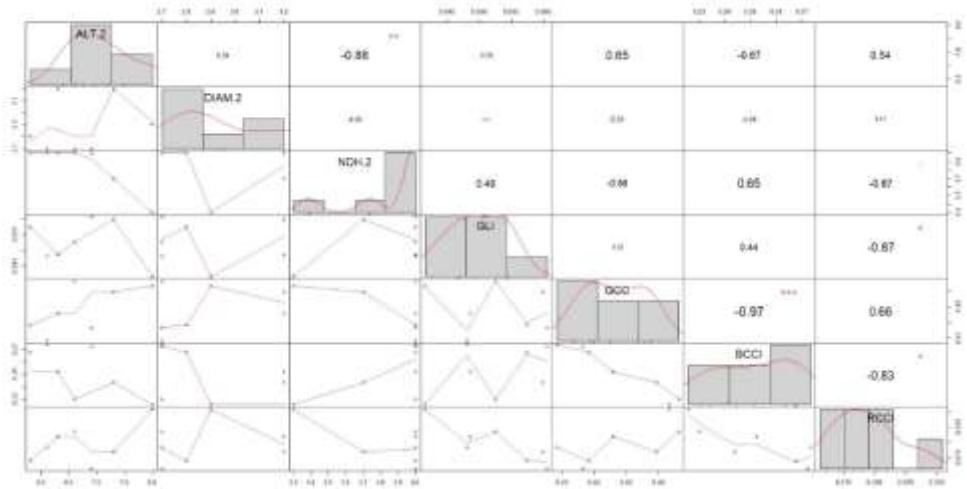


Figura 3. Matriz de correlación de Pearson entre variables agronómicas e índices de vegetación durante el segundo muestreo.

En relación con el número de hojas, el índice BCCI presentó correlaciones positivas moderadas a fuertes (0.65–0.67), evidenciando nuevamente su capacidad para responder a cambios relacionados con el vigor vegetal. Por el contrario, RCCI mostró correlaciones negativas moderadas a fuertes con NDH, mientras que GCC presentó

asociaciones negativas, lo cual podría estar relacionado con modificaciones en la pigmentación y cobertura foliar conforme avanzó el desarrollo de las plántulas.

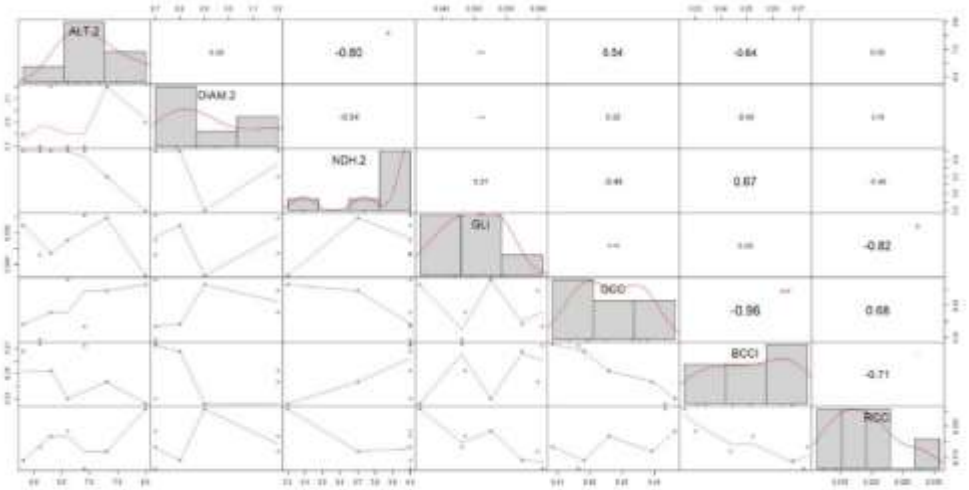


Figura 4. Matriz de correlación de Spearman entre variables agronómicas e índices de vegetación durante el segundo muestreo.

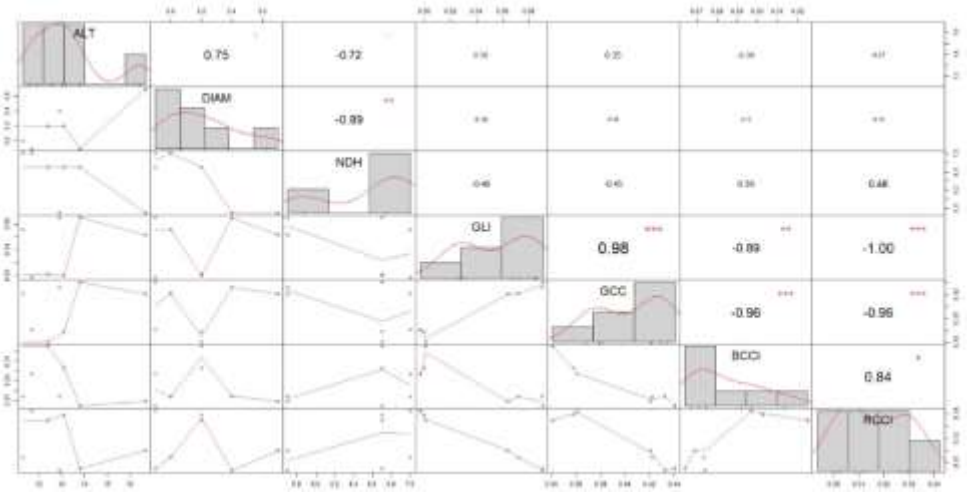


Figura 5. Matriz de correlación de Pearson entre variables agronómicas e índices de vegetación durante el tercer muestreo.

En términos agronómicos, los resultados obtenidos sugieren que el índice BCCI fue el que presentó mayor relación con las variables asociadas al crecimiento de las plántulas, particularmente altura y número de hojas, por lo que podría considerarse como uno de los índices más útiles para el monitoreo del vigor vegetal en etapas tempranas del cultivo de jitomate. Además, la alta relación observada entre varios índices de vegetación indica que algunos de ellos podrían aportar información redundante, lo que permitiría simplificar futuros análisis y modelos estadísticos mediante la selección de índices más representativos.

CONCLUSIONES

Entre los índices analizados, BCCI presentó las relaciones más consistentes con las variables agronómicas, especialmente con la altura de planta y el número de hojas, lo que demuestra su potencial como indicador indirecto del vigor vegetal en etapas tempranas del cultivo. El uso de imágenes RGB y de índices de vegetación representa una herramienta accesible, rápida y no destructiva para el monitoreo de plántulas de jitomate, permitiendo identificar índices con mayor sensibilidad al crecimiento vegetal y contribuyendo al desarrollo de estrategias de evaluación más precisas en sistemas de producción agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Desta, B., & Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8(1), 1.

Feng, A., Zhou, J., Vories, E. D., Sudduth, K. A., y Zhang, M. (2020). Yield estimation in cotton using UAV-based multi-sensor imagery. Biosystems Engineering, 193, 101-114.

Gaytán-Ruelas, M., Vargas-Espinoza, E., Rivera-Arredondo, M. y Morales-Félix, V. de J. (2016). Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (Lycopersicon esculentum Mill.) bajo invernadero. Revista Análisis Cuantitativo y Estadístico, 3(7), 18-25.

Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(1), 61-76.

Morales-Morales, E. J. (2022). Manejo agronómico y poscosecha de jitomate en función de urea NBPT, fosfito de potasio y alginato de sodio.

Queiroz, D. A. D. (2024). Uso de bioestimulantes à base de aminoácidos na agricultura.

Rangel, P. P., Castillo, G. A. B., Torres, J. L. T., Shibata, J. K., Chávez, L. T., y Garza, A. M. (2002). Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. Terra Latinoamericana, 20(3), 267-276.

SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas Agroalimentario. https://www.gob.mx/siap

Yamaguchi, T., Tanaka, Y., Imachi, Y., Yamashita, M., & Katsura, K. (2020). Feasibility of combining deep learning and RGB images obtained by unmanned aerial vehicle for leaf area index estimation in rice. Remote Sensing, 13(1), 84.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE TEMPERATURA AMBIENTE EN CALIDAD Y RENDIMIENTO DE (*Zea mays* L.), EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRAS

Alfredo, Lino-Brito[1*]; Maribel, Apolinar-Aguilar[2]; Melecio Pérez-Mendoza[3], Noel J; Arozarena-Daza[4]

[1-2-3]Universidades para el Bienestar Benito Juárez García (UBBJG), [4]Instituto de Investigaciones en Agricultura Tropical "Alejandro Humboldt" (INIFAT) Cuba. Autor de correspondencia: 2331313993 * alfrelino_09@hotmail.com

RESUMEN

El objetivó de la investigación fue evaluar diferentes fechas de siembra en el cultivo de maíz, en una variedad, local muy apreciada por los productores del territorio, entre los meses de marzo y abril (primavera-verano) y determinar cómo impacta las temperaturas extremas en el rendimiento y calidad de la producción, cuando estas se presentan en la etapa R1 (inicio de la floración femenina) del cultivo. Se valoró la temperatura de 14 días antes y 14 días durante el periodo R1. Los valores de temperatura se obtuvieron del sistema de pronóstico meteorológico, Accuwather, (2024), para Calkiní, Campeche. Esta información se utilizó para el cálculo de los grados día extremos (GDE), para la fenofase antes mencionada. Dentro de los resultados obtenidos, se encuentran: cuando aumentan los GDE, aumentan las deformaciones de las mazorcas llegando al 100 % de las mismas para las fechas de siembra más temprana. Mientras que el rendimiento disminuye con el aumento de los GDE, siendo el rendimiento más alto el de 4691.11 kg ha, asociado a los menores valores de GDE 23, para temperaturas nocturnas y 29, para las diurnas. Las altas temperaturas, previas a la etapa de floración del maíz, y durante la misma, tanto para las máximas, como las mínimas, provocaron un estrés abiótico, para la etapa del cultivo, ya que provocaron mayores por cientos de anomalías en mazorcas cosechada y un menor rendimiento de granos.

Palabras clave: *estrés abiótico, maíz, etapa R1.*

The objective of the research was to evaluate different planting dates in maize cultivation, in a local variety highly valued by producers in the region, between the months of March and April (spring-summer), and to determine how extreme temperatures impact the yield and quality of production when they occur during the R1 stage (beginning of female flowering) of the crop. The temperature 14 days before and 14 days during the R1 period was evaluated. Temperature values were obtained from the weather forecasting system, Accuweather (2024), for Calkiní, Campeche. This information was used to calculate the extreme degree days (EDD) for the aforementioned phenophase. Among the results obtained are: when the EDD increase, the deformations of the ears also increase, reaching 100% for the earliest planting dates. Meanwhile, yield decreases with the increase of the EDD, with the highest yield being 4691.11 kg ha, associated with the lower GDE values of 23, for nighttime temperatures, and 29, for daytime temperatures. The high temperatures, prior to the maize flowering stage, and

during it, both for maximum and minimum values, caused abiotic stress for the crop stage, as they caused higher percentages of anomalies in harvested ears and a lower grain yield.

Keywords: *abiotic stress, maize, R1 stage.*

INTRODUCCIÓN

El maíz es de los cultivos que se pueden sembrar en una gran diversidad de climas, suelos, latitudes y altitudes, sembrándose desde los 40º latitud sur en Argentina y Chile hasta los 60º latitud norte en Canadá (FAO, 2024). Entre los años 2016 y 2020, se sembraron a nivel mundial, un promedio 184.8 millones de hectáreas con una producción de 1,043.2 millones de toneladas, lo que significa un rendimiento medio de 5.64 t ha, para el periodo. Mientras que el ciclo agrícola 2021, la siembra ascendió a 201.11 millones de hectáreas con una producción de 1,204.523 millones de toneladas y un rendimiento de 5.99 t ha, representando un ligero aumento en la superficie de siembra y producción con respecto a los ciclos anteriores (INEGI, 2023).

Por su parte México, siembra un promedio anual, aproximado de 7 millones de hectáreas de maíz, con una producción media de 26.20 millones de toneladas anuales, con un rendimiento de 4.07 t ha (Guzmán-Anaya y Lugo-Sánchez, 2024). Sucediendo la siembra fundamentalmente en dos épocas: la de primavera-verano (1 de marzo al 30 de septiembre), la cual es la de mayor superficie y producción, pero con bajo rendimiento, ya que la mayoría es de temporal. Además, del periodo otoño–invierno (1 de octubre al 28 de febrero) la cual es de menor superficie, pero de mayor rendimiento, ya que la mayoría de esta siembra, se realiza bajo riego (Agrojaf, 2022). Mientras que el municipio de Calkiní, estado de Campeche, lugar de la investigación, el periodo de siembra, va de mayo hasta agosto, con el 94 % de los productores sembrando entre junio y julio (Tucuch-Cauich, *et al*., 2007). En Calkiní, los veranos son cortos, tropicales y parcialmente nublados; los inviernos son calurosos y mayormente despejados y bochornoso (alta humedad relativa) durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía entre 18 °C a 36 °C y rara vez baja a menos de 13 °C o sube a más de 40 °C (Weather Spark, 2024); por lo que se pudiera pensar en siembras de maíz durante todo el año, si se cuenta con riego.

Ejemplos al respecto, es el de Lino, *et al*., (2023), Tipos de Fertilización en maíz nativo (*Zea Mays* L.) X-Mejen Nal, Bajo Riego por Goteo, en el municipio de Calkiní, con siembra en el mes de marzo, con rendimientos de más de 5.0 toneladas por hectáreas. Además, del 11.84 % de la superficie de siembra de maíz a nivel nacional, está entre los meses de marzo y abril (SIAP, 2019). Cruz-González, *et al*., (2024), plantean que el rendimiento del maíz podría reducirse hasta un 10% debido a las fluctuaciones de las precipitaciones y las temperaturas, hasta 2055. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de México, informó que mayo de 2024 fue el mes más

caluroso registrado en la historia del país, con dos olas de calor con temperaturas de hasta 45 °C, con duración de 11 y 16 días cada una. Siendo, las regiones del noreste, Golfo de México, Península de Yucatán y Pacífico sur, las más impactadas por estas altas temperaturas. Al mismo tiempo, la sequía extrema que afecto a estos territorios con un déficit del 75% en las lluvias registradas, con respecto a la media histórica (Santana, 2024). Por tales motivos, el objetivó de la investigación fue evaluar diferentes fechas de siembra en el cultivo de maíz, en una variedad de origen local muy apreciada por los productores del territorio, entre los meses de marzo y abril, bajo condiciones de riego por goteo y determinar cómo impacta las temperaturas extremas en el rendimiento y calidad de la producción, cuando estas se presentan en la etapa R1(inicio de la floración femenina) del cultivo. Además, de comparar las temperaturas históricas de los meses de mayo y junio, cuando ocurrieron las floraciones de las distintas fechas de siembra, con las puntuales de estos meses para el año 2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en áreas de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García (UBBJG), ubicada en el municipio de Calkiní, perteneciente al Estado de Campeche. Localizándose en la Latitud 20.379291 y en la Longitud -90.06113, con una elevación de 18.40±36 m.s.n.m, determinado con el programa, NoteCam, cámara APP combinada con la información del GPS. Siendo el tipo de suelo Leptosol Lítico (Calcárico), de color rojo con abundante roca calcaría (Palma, 2017). El periodo del experimento fueron siembras realizadas entre la segunda decena de marzo y la primera de abril, 2024, cinco en total: 20, 27 y 31 de marzo, así como 4 y 11 de abril en todos los casos en el 2024, con tres repeticiones por tratamiento o fecha de siembra, siendo las mismas de 40 m^2, con un diseño experimental de bloques al azar, para el caso de los rendimientos y sus componentes, mientras que el análisis de las temperaturas, se realizó mediante prueba no paramétrica, teniendo una densidad de siembra de 33,000 plantas por ha, con riego por goteo. El material vegetal empleado fue San Pableño blanco.

Los valores promedios históricos diarios de temperatura máxima y mínima para los meses de mayo y junio y los del año 2024 para todos los días de los mismos meses, se obtuvieron del sistema de pronóstico meteorológico, Accuwather, (2024), para Calkiní, Campeche; la cual es una aplicación que te ofrece pronósticos del tiempo local y mundial, con más de 50 años de servicio. Pertenecientes a la empresa con el mismo nombre, la cual fue fundada en 1962 por Joel N. Myers y adquirió el nombre actual en 1971. La misma tiene su sede en *State College*, con algunas oficinas a nivel nacional e internacional. Los mismos se muestran en las figuras 1 y 2. Tales datos, se contrastaron mediante una prueba no paramétrica de T de *Wicolxon*, bajo hipótesis de

contraste unilateral los incrementos de temperatura diaria en los meses mayo y junio año 2024, no difieren o si de los promedios históricos para igual periodo.

De igual manera se evaluó la temperatura de 14 días antes y 14 días durante el periodo de R1 (estigmas visibles, floración femenina), para todas las fechas de siembra, ya que es donde ocurren las mayores reducciones de rendimientos, producto del estrés por factores climáticos como las temperaturas extremas (Fassio, *et al*., 1998). Esta información se utilizó en el cálculo de los grados día extremos (GDE), para la fenofase antes mencionada de acuerdo con la metodología de Lobell y Field, (2007). Las temperaturas umbrales tomadas como referencia para maíz, fueron las reportadas por los autores, Crafts y Salvucci, (2002); Ruiz *et al*., (2002); Wahid *et al*., (2007), 24 y 35 ^{0}C, temperaturas nocturnas y diurnas en ese orden. Los GDE se relacionaron con las mazorcas anómalas (%) y rendimiento (kg ha^{-1}), a través, de la correlación de Pearson, la regresión lineal y coeficiente de determinación. Los tratamientos en estudios se presentan en el cuadro 1, consistiendo en la evaluación de 5 fechas de siembras; así como los días a emergencia de las plantas y los días a floración masculina (DFM) y a floración femenina (DFF), cuando el 50% de las plantas tuvieran la fenofase en cuestión. Además, del número de días con Temperaturas máximas, por encima de 35 y mínimas por encima de 24 ^{0}C, 14 días antes y durante el periodo de R1 (estigmas visibles (floración femenina), para las distintas fechas de siembra.

Al momento de la cosecha, 127 después de emergidas (dde) las plántulas, momento en que el cultivo alcanzo la madurez fisiológica, se determinó el por ciento (%) de malformaciones en mazorcas (mazorcas sin granos, con pocos granos y granos en grupo), de acuerdo a los criterios de Ciampitti, (2018). Posteriormente, 30 días después de la cosecha, para que el grano alcanzara un secado óptimo, se evaluaron los siguientes parámetros: longitud de mazorca (LMz), en cm; diámetro de mazorca (DMz), en mm, tomado en la parte media de la misma; número de hileras por mazorca (NHM); número de granos por hilera (NGH); número de granos por mazorca (NGM), como el producto de NHM x NGH, tomados al azar de una muestra de 10 mazorcas por parcela útil (20m^{2}, centro de la parcela). El rendimiento de grano (RG), se ajustó de acuerdo a la fórmula estándar para estos caos: kg ha^{-1}= plantas ha^{-1} x mazorcas plantas^{-1} x granos mazorca^{-1} x 1/granos por kilos.

El maíz fue fertilizado a los 11 y 30 días de emergida (dde) las plántulas, con la fórmula fertilizante 110-45-95 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente, calculada a partir de los macronutrientes extraídos por una tonelada de granos de maíz (Hernández, *et al*., 2014). Además de la fertilización edáfica de base, se efectuaron tres fertilizaciones foliares, con Bayfolan® Forte, a dosis de 2, 3 y 4 L ha^{-1}, como indica el fabricante, siendo los momentos de aplicación a los 11, 30 y 45 dde las plántulas. En todos los casos la información estadística, se procesó con el paquete *The SAS System for Windows* 9, versión en español, según diseño. Realizando la

comparación de medias mediante *Tukey al 0.05*, para la estadística paramétrica. En todos los casos de datos en porcentaje, se realizó la transformación angular (Arcoseno) o de Bliss, Arcoseno= √ % de calidades/100, como se indica en estos casos, para el procesamiento estadístico.

Cuadro 1. Tratamientos de fechas de siembra aplicados al maíz, material vegetal, San Pableño.

Tratamientos	Fechas de siembras	Emergencia de plántulas	DFM	DFF	Máximas >35°C	Mínimas >24°C
1	T1: 20/03/2024		61.00±1.41	64.00±1.41	28	27
2	T2: 27/03/2024	a los 3-4 días	61.00±1.00	64.00±1.21	25	22
3	T3: 31/03/2024	de sembrada	61.00±1.37	64.00±1.83	22	20
4	T4: 04/04/2024	las semillas	63.00±1.83	66.00±1.58	15	13
5	T5: 11/04/2024		66.00±1.83	68.00±2.16	10	5

T: tratamiento; Emergencia de plántulas, Días a floración masculina (DFM), Días a floración femenina (DFF) y Número de días con Temperaturas máximas, por encima de 35°C y mínimas por encima de 24°C, 14 días antes y durante el periodo de R1 (estigmas visibles (floración femenina),

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan las gráficas 1 y 2, en ambos casos las temperaturas históricas mínima (nocturnas) y máxima (diurnas) para mayo y junio en el municipio de Calkiní, tuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la prueba T de Wicolxon con respecto a las temperaturas diarias ocurridas para el mismo periodo del año 2024. Siendo los aumentos en el mes de mayo de las temperaturas máximas de entre 3 y 7 °C; por su parte las mínimas para igual periodo los aumentos fluctúan en 3 y 5 °C, coincidiendo con un periodo de sequía que se extendió durante todo el mes de mayo y parte de junio. Mientras que las variaciones de temperaturas para junio, para las diurnas, fueron desde la disminución entre 1 y 6 °C, mientras que los incrementos estuvieron en el orden de los 3 y 7 °C, principalmente en la primera quincena de junio, ya que aún no comenzaban las lluvias. Por su parte las temperaturas nocturnas, los aumentos en la misma etapa, estuvieron entre 3 y 5 °C, siendo influenciadas igualmente por la falta de lluvias, con disminución entre 1 y 6 °C, haciéndose presente a finales de la primera quincena, para los días 13, 14 y 15, a partir de los cuales hubo disminución de las temperaturas máximas y mínimas.

Al respecto Sosa-Rodríguez, (2015), informó que el Ensamble de 23 modelos climáticos globales (MCG) realizado por la Unidad de Investigación Climática (*Climate Reserach Unit*) para los escenarios asociado a una economía intensiva en el consumo de combustibles fósiles y ajustado a la escala regional de México, se pronosticaba aumentos en la temperatura media anual entre 0.5 y 4.8 °C en el periodo 2020-2100, mientras que las precipitaciones podría reducirse hasta un 15%, durante el invierno y 5% en el verano.

En este sentido Tinoco, (2024), reportó que el servicio meteorológico nacional de México, informó que mayo de 2024 fue el mes más caluroso registrado en la historia de México, con una temperatura media de 27 grados

Celsius. Este registro supera las mediciones históricas iniciadas en 1953 y coloca a este mes 2.9 grados por encima del promedio climatológico de 1991 a 2020.

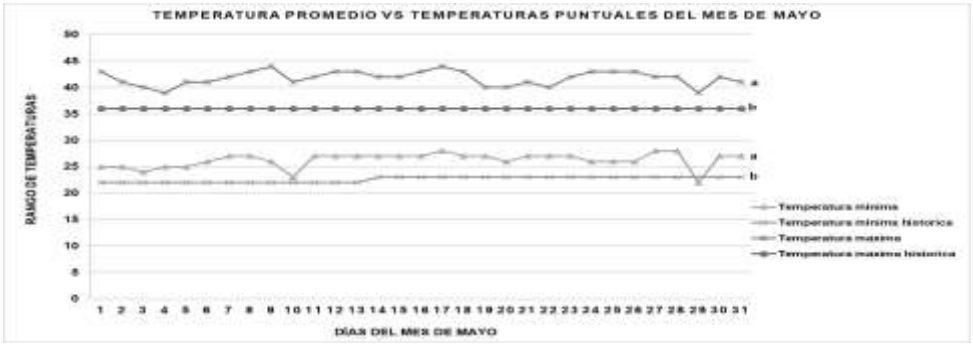


Figura 1. Valores promedios históricos diarios de temperaturas mínimas y máximas *vs*, valores temperatura diaria, mínima y máxima, año 2024 mes de mayo, fuente: Accuwather. Significancia, T de Wicolxon, *p=0.00003; p= 0.00002 < α =0.005*, temperaturas máximas y mínimas en ese orden.

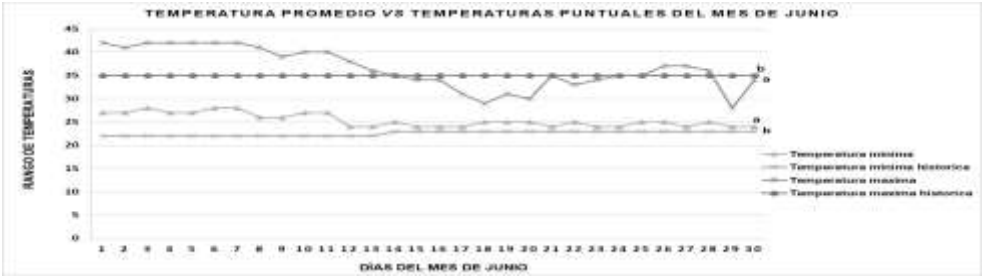


Figura 2. Valores promedios históricos diarios de temperaturas mínimas y máximavs, valores temperatura diaria mínima y máxima, año 2024 mes de junio, fuente: Accuwather. Significancia, T de Wicolxon, *p=0.00002; p= 0.00005 < α =0.005*, temperaturas máximas y mínimas en ese orden.

A continuación, se presenta el cuadro 2, el cual muestra las características de la mazorca, exponiendo diferencias significativas (*p≤ 0.05*) para todas las variables evaluadas, a favor de la fecha de siembra T5: 11/04/2024, fecha menos afectada en la fenofase R1, por la acumulación de GDE, tanto nocturnos, como diurnos. Las mazorcas de este material son cilíndricas, tienden a ser muy largas, mayores que 20 cm, con cinco o más centímetros de diámetro y 12 o más hileras, con más de 40 granos, estos son blancos y cristalinos (González-Valdivia, *et al*., (2017). Nótese que las características de la mazorca son afectadas, por las temperaturas producto de las fechas de siembras realizadas. Investigaciones desarrolladas al respecto demostraron que las temperaturas elevadas, sobre todo en la noche, por encima del promedio durante el crecimiento reproductivo reducen el rendimiento del maíz tanto por la disminución del número como del peso del grano (Andrade *et al*., 2023).

Cuadro 2. Efecto de las fechas de siembra, sobre las características de la mazorca, material vegetal, variedad local "San Pableño" cosechado a los127 dds y la semilla y evaluado 30 después de cosecha.

Fechas de siembras	Largo de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (mm)	Hileras por mazorcas	Número de granos/ hileras	Granos/ mazorca
T1: 20/03/2024	14.78 d	29.25 d	9.65^{c}	7.43 e	69.11 e
T2: 27/03/2024	15.79 c	31.29 c	9.57^{c}	11.39 d	96.24 d
T3: 31/03/2024	16.84 b	37.36 b	10.10^{bc}	18.63 c	163.44 c
T4: 4/04/2024	18.02 a	40.19 a	11.47^{ab}	27.46 b	184.12 b
T5: 11/04/2024	18.54 a	41.16 a	12.92^{a}	37.55 a	401.25 a
DMSh	0.996	1.497	1.452	2.723	18.10
CV (%)	3.85	6.71	8.77	8.62	6.42

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * (*P≤ 0.05*); DMSh, diferencia significativa honesta y CV, Coeficiente de variación.

Igualmente, las temperaturas diurnas por encima del umbral para el cultivo de maíz, por mucho tiempo, provocan el acortamiento del tiempo entre la emergencia de la seda y la madurez del grano, reduciendo el número de días que la planta de maíz está involucrada en la fotosíntesis durante el relleno del grano, disminuyendo la cantidad de energía que la planta de maíz puede convertir en rendimiento del grano (Mayer, *et al*., 2020; Reyes-González *et al*., 2025).

La información del cuadro 3, nos muestra, que para los dos grupos de GDE, la correlación de Pearson (r), son correlaciones positivas y fuertes, o sea a medida que el estrés térmico expresado mediante GDE aumentan, los porcientos de mazorcas anómalas es mayor, llegando al 100 % para las fechas de siembra de los tratamientos 1 y 2. Por su parte el coeficiente de determinación, nos expresa que entre el 89 y 86 % de las mazorcas anómalas se explican por la acumulación de temperaturas extremas superiores a los umbrales nocturnos y diurnos respectivamente. La calidad de la mazorca se ve severamente afectada cuando los grados días extremos (GDE) son mayores durante la etapa R1 (floración emergencia de los estigmas) (Wang, *et al*., 2021; Cruz-González, *et al*., 2024). Mientras que la ecuación de regresión nos expresa, que por cada unidad que aumenta el GDE> 24 °C, el porcentaje de mazorcas anómalas se incrementa en 1.77 % y por cada unidad que aumenta el GDE> 35 ^{0}C, el porcentaje de mazorcas anómalas se incrementa en 0.725 %.

Cuadro 3. Los grados día extremos (GDE), para las temperaturas umbrales mayores a 24 y 35 °C, la correlación de Pearson, con sus correspondientes coeficientes de correlación (R^2) y significancia, así como la ecuación de regresión lineal durante la fenofase R1. Los por cientos (%) de mazorcas anómalas para el material de maíz nativo "San Pableño.

Fechas de siembras	GDE> 24 °C	Correlación de Pearson (r) GDE> 24^{0}C	GDE> 35 °C	Correlación de Pearson (r) GDE> 35°C	Mazorcas anómalas (%)
T1: 20/03/2024	79	r= 0.9485	185	r= 0.930	100^{a}
T2: 27/03/2024	66	R^2= 0.8997	150	R^2= 0.8649	100^{a}
T3: 31/03/2024	60	p^*= 0.0139<0.05	134	p^*= 0.0220<0.05	85.58^{b}
T4: 04/04/2024	47	y= 1.7704x-21.116	85	y= -8.28+0.75x	76.82^{c}
T5: 11/04/2024	23		29		18.88^{d}
CV (%)	-		-		4.92

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales; DSMh (Diferencia significativa honesta) y Coeficiente de variación, y *p*(value)

Los resultados del cuadro 4, reflejan que la correlación entre el estrés térmico por la noche, acumulación de GDE mayores a 24 °C y diurna GDE mayores a 35 °C, son negativas y fuertes, o sea a medida que aumentan los grados extremos de temperatura el rendimiento disminuye. Los coeficientes de determinación, explican que las variaciones del rendimiento para las distintas fechas se deben en un 96.5 y 86.8 % respectivamente a los cambios en los GDE acumulados, con diferencias significativa, por tanto, los GDE es un factor crítico y determinante en la caída del rendimiento para fechas de siembra.

La ecuación de regresión, por su parte, nos expresa, que por cada unidad que aumentan el GDE>24 °C, en la etapa R1, el rendimiento del cultivo disminuye en promedio 81.28 kg ha^{-1}. Mientras que las temperaturas diurnas por cada unidad que aumentan los GDE por encima de 35 °C, el rendimiento del cultivo se reduce en promedio 28.11 kg ha^{-1}. Si el cultivo no tuviera ningún grado de estrés térmico el rendimiento potencial del material evaluado oscilaría entre 5180.75 y 6310.20 kg ha^{-1}. Tal estimación concuerda con lo reportado por Ku-Pech, *et al*., (2023), los que expresan que estos maíces nativos o locales poseen una amplia diversidad genética, con maíces que van desde las 1.5 t ha en condiciones de milpa tradicional hasta materiales que, en condiciones óptimas de evaluación, superan las 4-6 t/ha.

Cuadro 4. Los grados día extremos (GDE), para las temperaturas umbrales mayores a 24 °C (nocturnas) y 35 °C (diurnas), la correlación de Pearson, con sus correspondientes coeficientes de correlación (R^2) y significancia, durante la fenofase R1. Los valores de rendimiento (kg ha^{-1}) para el material de maíz nativo "San Pableño, sembrado en cinco fechas de siembra diferentes.

Fechas de siembras	GDE> 24 °C	Correlación de Pearson (r) GDE> 24°C	GDE> 35 °C	Correlación de Pearson (r) GDE> 35°C	Red. kg ha^{-1}
T1: 20/03/2024	79	r = - 0.983 R^2= 0.965 p^*= 0.0026<0.05 y= 6310.2-81.28x	185	r = - 0.932 R^2= 0.868 p^*= 0.021<0.05 y= 5180.75-28.11x	466.55 c
T2: 27/03/2024	66		150		590.86 c
T3: 31/03/2024	60		134		782.59 c
T4: 04/04/2024	47		85		2983.04 b
T5: 11/04/2024	23		29		4691.11 a
DMSh	-		-		384.74
CV (%)					13.12

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, *(*P≤ 0.05*); DSMh (Diferencia significativa honesta) y Coeficiente de variación, *p* (value).

Además, de la información analizada en los cuadros 3 y 4, igualmente presentan el análisis de varianza para el por ciento de mazorcas anómalas y el rendimiento del cultivo, con diferencias significativas (*p≤ 0.05*), para ambas variables. Destacando que la fecha de siembra con mayor valor de rendimiento y menores por ciento de mazorcas deformes es la 5 (11/04/2024), siendo esta la que menos GDE presentó tanto en las temperaturas diurnas, como nocturnas. El aumento de las temperaturas diurnas, como nocturnas durante la fenofase R1,

afecta drásticamente el desarrollo de la mazorca, principalmente al alterar el balance de energía de la planta y acelerar su ciclo de vida, lo que se traduce en mazorcas con menos granos o de menor peso, disminuyendo considerablemente el rendimiento del cultivo (Guan *et al*., 2024); (Reyes-González, *et al*., 2025).

CONCLUSIONES

Las temperaturas históricas de los meses de mayo y junio difieren significativamente de las temperaturas diarias para los mismos meses del año 2024, siendo al alza la diferencia. Las altas temperaturas, previas a la etapa de floración del maíz, y durante la misma, tanto para las máximas, como las mínimas, provocaron un estrés abiótico, para la etapa del cultivo, provocando mayores porcentajes de anomalías en mazorcas cosechadas. Además, los atributos de las mazorcas se vieron afectados negativamente, Por tales razones, los mayores valores de rendimiento se presentaron en las fechas de siembras, donde se afectó menos los días de floración y los previos a esta, por temperaturas máximas y mínimas por encima de los umbrales para el cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accuwather, (2024). Calkiní, Campeche. Disponible en: https://www.accuweather.com/es/mx/calkin%C3%AD/231868/may-weather/231868, (consultado, 1/07/2024).

Agrojaf, (2022). Cultivos de primavera-verano en México. Disponible en: https://agrojaf.com/cultivos-de-primavera-verano-en-mexico/ (consultado, 26/02/2026).

Andrade, F., Neiff, N., y Andrade, F. (2023). Crecimiento del cultivo. *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. Andrade, F., Otegui, ME, Cirilo, A., Uhart, S.(Eds.). Asociación Civil MAIZAR. Balcarce, Argentina*, 73-105.

Ciampitti, I. (2018). Espigas Anormales en Maíz. K-State Research. Research and Extension, 15 p.

Crafts, S.J. y Salvucci, M.E. (2002). Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiol*. 129:1773-1780.

Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J. y Monterroso-Rivas, A. I. (2024). Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 15 (1): 1-15, https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327.

Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J., y Monterroso-Rivas, A. I. (2024). Impacts of climate change on corn production in Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *15* (1). **DOI:** https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2024). FAOSTAT, Cultivos y productos de ganadería. Disponible en: https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize. (consultado, 27/02/2026).

Fassio A., Carriquiry A., Yojo C, Romero A. 1998. Maíz: aspectos sobre fenología. INIA. Montevideo, Uruguay.

González-Valdivia, N. A., Cetzal-Ix, W. R., Martínez-Puc, J. F., Soria-Fregoso, M. J., Burgos-Campos, M. A. y Arcocha-Gómez, E. (2017). Razas y variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en la península de Yucatán, México. Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. pp. 29. ISBN: 978-607-96575-7-4.

Guan L, Chen Y, Dong X (2024) Impacts of high temperature and vapor pressure deficit on the maize opened spikelet ratio and pollen viability. *Agronomy* 14(11): 2510. https://doi.org/10.3390/agronomy14112510 .

Guzmán-Anaya, L. y Lugo-Sánchez, M. G. (2024). Análisis Regional de la Producción de maíz en México. Eseconomía, 19, (62): 9-27.

Hernández, V., R. Zetina y I. Meneses. 2014. Extracciones nutrimentales en tres cultivos básicos en Veracruz, México. Biológico Agropecuaria Tuxpan, 2 (1): 229-235, ISSN: 2007-6940. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327.

INEGI, 2023. Censo Agropecuario 2022. Comunicado de prensa número 667/23, disponible en: CA_Def2022.pdf.

Ku-Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Islas-Flores, I., Sauri-Duch, E., Latournerie-Moreno, L., Rodríguez-Llanes, Y. y Simá-Gómez, J. L. Diversidad del Maíz en Tres Zonas Geomorfológicas de Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 26: #078, http://doi.org/10.56369/tsaes.4853.

Lino, A., Apolinar, M. y Bolón, J. A., 2023. Tipos de Fertilización en Maíz Nativo (*Zea mays* l.) X-Mejen Nal, Bajo Riego por Goteo. (comp.). Ciencia y tecnología para un campo productivo y sustentable. INIFAT, SADER y CIRGC, 2585 p.

Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental research letters*, *2*(1): 1-7, 014002. doi:10.1088/1748-9326/2/1/014002.

Mayer, L. I., Cirilo, A. G., y Maddonni, G. A. (2020). La calidad industrial y los golpes de calor durante el llenado de los granos de maíz. Capítulo 4: (Eds), Lucas Borrás. Maíz Flint: Producción sustentable y calidad de grano, 35.

Palma, D. J., J. Zavala, F. Bautista, M. A. Morales, A. López, *et al*., 2017. Clasificación y Cartografía de Suelos del Estado de Campeche, México. Agroproductividad. 10 (12): 71-78.

Reyes-González A, Reta-Sánchez DG, Sánchez-Duarte JI, Servín-Palestina M, Cueto-Wong JA (2025) Temperatura alta durante la polinización y su efecto en el rendimiento de maíz grano. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4253. DOI: 10.19136/era.a12n2.4253.

Reyes-González, A., Reta-Sánchez, D. G., Sánchez-Duarte, J. I., Servín-Palestina, M., & Cueto-Wong, J. A. (2025). Temperatura alta durante la polinización y su efecto en el rendimiento de maíz grano. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *12*(2): 1-9, https://doi.org/10.19136/era.a12n2.4253.

Ruiz, J.A., H.E. Flores, J.L. Ramírez, y D.R. González. (2002). Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia* 36:569-577.

Santana, F. E. (7 de junio de 2024). Yucatán vive la peor sequía en 30 años, dice la Conagua. *Diario de Yucatán*. disponible en: Yucatán vive la peor sequía en 30 años, dice la Conagua. (consultado, 1/07/2024).

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), (2019). Producción Nacional de maíz grano. Anuario Estadístico de la Producción, desde 1980-2019. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/.

Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6, (2): 4-23, ISSN 2007-2961.

Tinoco, O. (18 junio, 2024). Ya sabemos cuál es el mes más caluroso y seco en toda la historia de México. *Infobae*. Disponible en: Ya sabemos cuál es el mes más caluroso y seco en toda la historia de México - Infobae, (consultado, 2/03/2026).

Tucuch-Cauich, F. M., Naal, R. K., Estrada-Vivas, J. D., y Palacios-Pérez, A. (2007). Caracterización de la producción de maíz en la zona centro-norte del estado de Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana*, *18*(2), 263-270.

Wahid, A., S. Gelani, M. Ahsraf, and M.R. Fooland. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environ. Exp*. Bot. 61:199-223.

Wang, Y., Wang, C., y Zhang, Q. (2021). Synergistic effects of climatic factors and drought on maize yield in the east of Northwest China against the background of climate change: W. Ying et al. *Theoretical and Applied Climatology*, *143*(3), 1017-1033. ISSN 0177-798X, doi:10.1007/s00704-020-03457-0.

Weather Spark, 2024. Climate and Average Weather Year Round in Calkiní, Campeche, México. Disponible en: Calkiní Climate, Weather By Month, Average Temperature (Mexico) - Weather Spark, (consultado, 1/07/2024).

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LA CALIDAD DEL TRIGO HARINERO Y CRISTALINO EN EL BAJÍO

Manuel Jeronimo Arriaga*[1]; Ernesto Solís Moya[2]; Lourdes Ledesma Ramírez[2]; Sarahyt Santamaria González Figueroa[2]; Eliel Martínez Cruz [2]; Juan José García Rodríguez [2]

[1]Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Roque. Carretera, Juventino Rosas – Celaya km. 8, 38110 Celaya Gto., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México, km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Gto. C.P. 38010. *Autor por correspondencia: jeross456@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto del ambiente sobre la calidad del grano en genotipos de trigo harinero y cristalino cultivados en la región de El Bajío. Se establecieron ocho experimentos considerando cinco fechas de siembra (del 16 de noviembre al 15 de enero) y tres calendarios de riego (dos, tres y cuatro riegos), utilizando 36 genotipos bajo un diseño látice triple con arreglo en parcelas divididas. En trigos harineros se analizaron variables como porcentaje de proteína, fuerza del gluten (valor W) y volumen de pan; mientras que en trigos cristalinos se evaluaron peso hectolítrico, dureza, pigmentos, proteína, semolina y calidad mixográfica. Los resultados mostraron que las fechas de siembra tardías y un menor número de riegos incrementaron el contenido de proteína y la fuerza del gluten en los trigos harineros. La variedad Eneida F94 destacó por mantener valores elevados de proteína y excelente volumen de pan en distintos ambientes. Asimismo, en trigos cristalinos, los tratamientos con dos riegos favorecieron mejores características de calidad tecnológica, incluyendo mayor contenido de proteína, dureza del grano, pigmentación y fuerza del gluten. Por el contrario, el incremento en el número de riegos redujo significativamente algunos atributos de calidad, especialmente en la variedad Altar C84. Se concluye que las condiciones ambientales y el manejo agronómico influyen significativamente en la calidad industrial del trigo, por lo que el ajuste de fechas de siembra y riego representa una estrategia importante para optimizar la calidad del grano en la región de El Bajío.

Palabras clave: *Calidad del trigo; Trigo harinero; Trigo cristalinoFechas de siembra; Manejo de riego*

ABSTRACT

This study evaluated the effect of the environment on grain quality in bread and durum wheat genotypes grown in the El Bajío region. Eight experiments were established considering five planting dates (from November 16 to January 15) and three irrigation schedules (two, three, and four irrigations), using 36 genotypes in a triple lattice design with a split-plot arrangement. In bread wheat, variables such as protein percentage, gluten strength (W value), and bread volume were analyzed; while in durum wheat, hectoliter weight, hardness,

pigments, protein, semolina, and mixographic quality were evaluated. The results showed that later planting dates and fewer irrigations increased protein content and gluten strength in bread wheat. The Eneida F94 variety stood out for maintaining high protein values and excellent bread volume in different environments. Similarly, in durum wheat, treatments with two irrigations favored better technological quality characteristics, including higher protein content, grain hardness, pigmentation, and gluten strength. Conversely, increasing the number of irrigations significantly reduced some quality attributes, especially in the Altar C84 variety. It is concluded that environmental conditions and agronomic management significantly influence the industrial quality of wheat, making the adjustment of planting and irrigation dates an important strategy for optimizing grain quality in the El Bajío region.

Keywords: *Wheat quality; Bread wheat; Dun wheat; Planting dates; Irrigation management*

INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los cereales más relevantes a nivel mundial y se cultiva en diversas condiciones ambientales. La calidad del grano de trigo depende en gran medida del genotipo, del entorno y de las interacciones entre el genotipo y el ambiente. De hecho, muchos atributos relacionados con la calidad, como el contenido proteico del grano, están afectados por factores climáticos, el genotipo, la cantidad de fertilizante nitrogenado, el momento en que se aplica el nitrógeno y la disponibilidad de agua durante el proceso de llenado del grano. En este contexto, al entender cómo el ambiente y las técnicas de manejo influyen en las propiedades de calidad del trigo, sería beneficioso para elevar su potencial en la industria. Las características físicas como el color, el peso específico y la dureza determinan la calidad del grano de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), por lo que los granos blandos, duros o muy duros están relacionados con la dureza del grano, que define el proceso de molienda y horneado (Hrusková y Svec, 2009). La dureza del grano puede verse afectada por factores ambientales como el tipo de suelo, el riego, los fertilizantes, las prácticas de manejo, las precipitaciones y la temperatura durante la maduración y la posmaduración (Pomeranz y Williams, 1990) La fertilización nitrogenada disminuye significativamente el peso hectolítrico en el trigo, pero aumenta la cantidad y la composición de las proteínas del gluten (gliadinas:gluteninas) (Graybosch *et al*., 1995).

El trigo duro (*Triticum durum* Desf.) es un cultivo importante para la dieta humana y, aunque solo representa entre el 5 y el 8 % de la producción mundial de trigo, es importante para la producción de una variedad de productos alimenticios, como sémola, pasta, trigo bulgur, cuscús y postres exclusivos del trigo duro. La calidad del trigo duro se define según parámetros tecnológicos determinados a nivel del grano, que están relacionados con el rendimiento (peso hectolítrico, vitrificación y contenido de cenizas), el procesamiento (contenido de proteínas) y las características requeridas para el producto final (Ames *et al*., 1999). La época de siembra

puede afectar la calidad de la sémola y la pasta al modificar las condiciones ambientales durante el llenado del grano. Al analizar el impacto de una época de siembra óptima y tardía en la calidad de la sémola, permitió aislar los efectos de la temperatura de los de la sequía. Las siembras tardías pueden ofrecer una alternativa para mejorar la calidad de cocción de la pasta, ya que exponen el grano a temperaturas que favorecen un mayor porcentaje de proteína. Sin embargo, esta práctica puede reducir el rendimiento, lo cual representa una desventaja en ambientes vulnerables a la sequía durante la maduración. Las variedades modernas de trigo duro sembradas en fechas óptimas presentan menores porcentajes de proteína, lo que se traduce en una menor calidad de cocción de la pasta, a pesar de contar con una mayor fuerza del gluten (Fois *et al*., 2011). El objetivo del presente documento fue determinar cómo el ambiente afecta la calidad del grano en genotipos de trigo harineros y cristalinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron ocho experimentos cinco fechas de siembra, del 16 de noviembre al 15 de enero con intervalos de 15 días y tres calendarios de riego 4) dos riegos, a los 0 y 55 días, 5) tres riegos a los 0-45 y 75 días, y 6) cuatro riegos a los 0-45-75 y 100 días después de la siembra. Los experimentos de calendarios de riego se sembraron el 1 de diciembre.

En los experimentos de fechas de siembra y calendarios de riegos se sembraron 36 genotipos en un diseño látice triple con tres repeticiones, con un arreglo en parcelas divididas donde las fechas de siembra y los calendarios de riego fueron las parcelas grandes y los genotipos las parcelas chicas. La dosis de fertilización utilizada fue 240-60-00, la mitad de nitrógeno y todo el P2O5 a la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio, las fuentes empleadas fueron sulfato de amonio con 20.5% de N y Microesencials, para fósforo.

Salamanca S75. Variedad de madurez intermedia, con 83 días a floración y 134 a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 88 cm. La espiga a la madurez es de color café y es barbada. El grano es de gluten suave, de color rojo, de forma ovoide y bordes redondeados. Esta variedad es susceptible a roya lineal amarilla (alcanzó 100% de severidad, en el INIFAP-Campo Experimental Bajío, en Celaya, Gto.). El rendimiento de grano de esta variedad en el estado de Guanajuato es de 5.5 t ha^{-1}, pero ha llegado a obtener un rendimiento de 8.5 t ha^{-1}.

Arandas F90. Variedad de madurez intermedia, con 87 días a floración y 133 días a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 97 cm. Su espiga es de color blanco y barbada. El grano es de color blanco de gluten fuerte, de forma ovoide y bordes redondeados. Su rendimiento en condiciones de riego es 12% superior a Salamanca S75.

Cortazar S94. Variedad de madurez precoz, con 80 días a floración y 132 días a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 87 cm. La espiga es de color blanco y barbada. El grano es de color rojo pálido, de forma ovoide y bordes redondeados. Cortazar S94 mostró moderada susceptibilidad a las razas de roya lineal amarilla (40% de severidad en el INIFAP-Campo Experimental Bajío, en Celaya, Gto.). Su rendimiento es superior en 7.4% al de Salamanca S75.

Eneida F94. Variedad de madurez intermedia a precoz, con 79 días a floración y 131 a madurez fisiológica en promedio. Es semienana, con altura de planta de 93 cm. La espiga es de color blanco y barbada. El grano es color blanco, de gluten fuerte, de forma ovoide y bordes redondeados. El rendimiento de esta variedad es superior al de Celaya F81 en 6.4%.

***Altar C84*.** Variedad de ciclo tardío de 86 días a floración y 135 días a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 87 cm. La espiga es blanca con barbas. El grano es de color ámbar, textura dura y epidermis lisa; la forma es elíptica con bordes angostos y pliegue ligero. En pruebas extensivas de rendimiento realizadas en varias localidades en la región del noroeste de México en diferentes fechas de siembra, Altar C84 mostró rendimientos superiores a Yavaros C79 entre 1 y 6%.

***Aconchi C89*.** Su ciclo es de 90 días a floración y 140 días a madurez fisiológica. La altura de planta varía entre 80 y 90 cm. La espiga es oblonga y densa. Al madurar las barbas o aristas son de color amarillo en la base y negro en el ápice. Es resistente al desgrane, y cuando madura mantiene una posición inclinada. El grano es largo, de color ámbar, tiene textura dura, de forma oval, bordes redondeados y pliegue medio profundo.

***Ámbar C97*.** Es de hábito de crecimiento de primavera, semienana, mide en promedio 99 cm de altura; su ciclo vegetativo es de 86 días a floración y 136 días a madurez fisiológica en promedio. Las espigas son de color blanco, de forma piramidal, densas, con barbas. El grano es de color ámbar, de tamaño mediano, es de forma ovoide y bordes redondeados, con un peso específico de 84 kg por hectolitro en promedio.

El rendimiento de la variedad Ámbar C97 es superior a 7.5 t ha^{-1} al ser sembrada entre el 16 de noviembre y el 31 de diciembre, pero al sembrarla en la primera quincena de diciembre este es superior a 9 t ha^{-1}. En fechas tardías cercanas al 15 de enero, los rendimientos disminuyen, pero aún son superiores a 5.5 t ha^{-1}.

En evaluaciones realizadas en tres calendarios de riego en el INIFAP-Campo Experimental Bajío, el rendimiento de Ámbar C97 fue superior en 6.5% al de Aconchi C89.

***Topacio C97*.** Es de hábito de crecimiento de primavera, semienana, mide en promedio 100 cm de altura; su ciclo vegetativo es tardío, con 92 días a floración y 138 días a madurez fisiológica. Las espigas son de color blanco, con bordes paralelos. El grano es de color ámbar, es de forma semialargada y bordes redondeados, con un peso específico de 83 kg por hectolitro en promedio. El rendimiento medio de Topacio C97 fue prácticamente igual al de Aconchi C89, notándose una ligera ventaja de Topacio C97 con calendarios de dos y tres riegos.

Las características de calidad medidas en los trigos harineros fueron 1) porcentaje de proteína en la harina 2) valor W y 3) volumen de pan. En los trigos cristalino se determinó 1) peso hectolítrico, 2) dureza del grano, 3) porcentaje de pigmentos de caroteno 4) porcentaje de proteína, porcentaje de semolina y 5) calidad mixográfica (valores de 1-3 se clasifican como gluten débil; de 4-5 como gluten medio; y de 6-8 como gluten fuerte). Las variables de calidad como peso hectolítrico, % de dureza, de proteína y de semolina, así como, el color del grano y la calidad mixográfica se determinaron con los métodos descritos por la Asociación Americana de Químicos Cerealeros, AACC (1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de calidad del trigo dependen de los factores ambientales y del manejo agronómico del cultivo. En general una variedad de gluten fuerte puede producir grano de menor fuerza de acuerdo a la fecha de siembra. Eneida F94 produce grano de gluten fuerte en el período comprendido entre el 1 de diciembre y el 15 de enero. Su contenido de proteína en la harina varía de 10.8 a más de 11 % a partir de las siembras del 16 de diciembre y su volumen de pan es de muy bueno a excelente en cualquier fecha de siembra.

El grano de esta variedad produce harina con porcentajes de proteína superiores al 11 % y valores W mayores de 300 con calendarios de dos y tres riegos aún en siembras efectuadas los primeros días de diciembre; con cuatro riegos la fuerza de gluten se conserva arriba de 300 pero el porcentaje de proteína puede bajar a 10.7 cuando la siembra se realiza la primera quincena de diciembre (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto del ambiente de evaluación sobre la calidad de la variedad Eneida F94. Campo Experimental Bajío, Circe, Inifap.

	Ambiente de evaluación								
	16 nov.	1 dic.	16 dic.	31 dic.	15 ene	Dos riegos	Tres riegos	Cuatro riegos	Media
% Proteína en la harina	10.4	10.3	10.8	11.5	11.3	11.2	11.3	10.7	10.9
Valor W*	280	333	390	486	385	418	415	375	385
Volumen de pan (cc)	838	795	803	932	830	827	768	822	827

W = WX10-4 J

En el Cuadro 2 se observó que las fechas de siembra tempranas noviembre y principios de diciembre registraron menores valores de proteína que las fechas de siembras tardías (31 de diciembre y 15 de enero). Así mismo, dos riegos registran valores menores de proteína que cuatro riegos en todas las variedades. Eneida F94 produce mayores valores de proteína que los trigos harineros de gluten débil, en todas las fechas de siembra, sin embargo, Arandas F90 (variedad de gluten fuerte), no superó en proteína a las variedades de gluten débil.

Cuadro 2. Efecto del ambiente de evaluación sobre la proteína del grano de cuatro variedades de trigo harinero.

Variedad	Ambiente de evaluación								
	16 nov.	1 dic.	16 dic.	31 dic.	15 ene	Dos riegos	Tres riegos	Cuatro riegos	Media
Eneida F94	10.0	10.0	11.2	12.4	12.5	13.0	12.7	12.4	12.55
Arandas F90	8.6	8.8	10.7	11.3	12.0	12.5	11.4	12.0	10.91
Salamanca S75	9.2	8.6	10.7	10.4	11.7	11.5	10.8	10.8	10.46
Cortazar S94	8.9	9.2	10.6	11.5	11.4	11.5	11.5	10.5	10.64

Características de Calidad en Trigos Cristalinos. En el Cuadro 3 se presenta el efecto del número de riegos sobre las características de calidad de los cuatro genotipos de trigo duro evaluados en el experimento. El tratamiento de dos riegos produjo mejores características de calidad que el de tres y éste que el de cuatro. El aumento en el número de riegos de dos a cuatro fue más detrimental para la variedad Altar C84, la cual disminuyó el contenido de proteína de 11.3 a 9.2. Lo mismo ocurrió con el rendimiento de semolina donde se observó una merma de 4%. La dureza de grano y la fuerza del gluten disminuyeron más para este genotipo que para los otros tres. El peso hectolítrico, en cambio, se incrementó con el número de riegos. El contenido de pigmentos de la variedad Altar C84 fue el más alto con dos riegos, pero disminuyó casi un 2% por cada riego extra que se aplicó. Esta tendencia nos indica la relación lineal que existe entre el porcentaje de panza blanca y el contenido de pigmentos. El porcentaje de semolina no se vio afectado por los tratamientos de riego, mostrando valores muy similares en los tres tratamientos. La calidad mixográfica se mantuvo en niveles adecuados para trigos duros en los calendarios de dos y tres riegos (valores mayores de 4), sin embargo, en el calendario de cuatro riegos la variedad Altar C84 se manifestó como de gluten débil (valores ≤ 3).

Cuadro 3. Efecto del número de riegos sobre las características de calidad de cuatro genotipos de trigo duro.

Tratamiento	PHL (kg/hl)	Dureza (%)	Pigmentos (%)	Proteína (%)	Semolina (%)	C. Mixográfica
2 riegos						
Topacio C97	80	34	9.86	12	57	6
Ámbar C97	80	35	9.58	13	56	6
Aconchi C89	78	37	10.72	12.6	55	5
Altar C84	82	38	11.48	13.6	55	5
3 riegos						
Topacio C97	81	33	10.14	11.3	57	5
Ámbar C97	83	34	9.32	11.9	56	5
Aconchi C89	79	37	10.14	10.6	56	5
Altar C84	81	36	9.86	10.3	56	5
4 riegos						
Topacio C97	83	33	8.54	11.4	57	5
Ámbar C97	84	35	7.34	10.7	56	5
Aconchi C89	84	40	8.04	10.0	56	4
Altar C84	83	48	7.34	9.2	51	3

PHL = Peso hectolítrico; C. = Clasificación.

CONCLUSIÓN

1) En trigos harineros las fechas de siembra tardías y el menor número de riegos incrementan la proteína del grano y la fuerza del gluten.
2) En trigos duros un menor número de riegos incrementa el nivel de proteína, la fuerza del gluten, la dureza y el color del grano

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of Cereal Chemists (AACC). 1982. Approved methods of the AACC. St. Paul, MN. USA.

Ames NP, Clarke JM, Marchylo BA, Dexter JE, Woods SM. 1999. Effect of environment and genotype on durum wheat gluten strength and pasta viscoelasticity. *Cereal Chem.* 76:582-586. PubMed/NCBI

Fois S, Schlichting L, Marchylo B, Dexter J, Motzo R, Giunta F. 2011. Environmental conditions affect semolina quality in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) cultivars with different gluten strength and gluten protein composition. *J. Sci Food Agric.* 91(14):2664-73. doi: 10.1002/jsfa.4509. Epub 2011 Aug 12. PMID: 21842525.

Graybosch, R. A., C. J. Peterson, P. S. Baenziger, and D. R. Shelton. 1995. "Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition," *Journal of Cereal Science*, 22(1): 45–51.

Hrusková, M., and I. Svec. 2009. Wheat hardness in relation to other quality factors. *Czech Journal of Food Sciences.* 27: 240–248.

Pomeranz, Y. and P. C. Williams. 1990. "Wheat hardness: it's genetic, structural and background, measurement and significance," *in*: Advance in Cereal Science and Technology, Pomeranz,Y. Ed., AACC Inc., St. Paul, MN, USA.



Granos amarillos como los rayos del sol, Grano rojo como la chispa de la sangre
Grano azul como lo profundo de la noche, Pero el grano negro me recuerda la semilla,
Mientras que el grano pinto se combina de la alegría
Como los hombres de piel bronceada, hechos de raíz, hojas, mazorca y masa,
Es la delicia de la mesa de la familia mexicana

MEJORAMIENTO GENÉTICO

Biotecnología, Recursos genéticos, Semillas

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE TRIGO CRISTALINO BAJO DOSIS DE NITRÓGENO EN EL BAJÍO

Lidia Alejandra Rodríguez Zermeño[1], Lourdes Ledesma Ramírez[1], Ernesto Solís Moya[1], Sarahyt Santamaria González Figueroa[1], Luis Antonio Mariscal Amaro[1], Dagoberto Flores Marín[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5 Celaya, Guanajuato, México. *Autor para correspondencia: 96.lidiarz@gmail.com

RESUMEN

La producción mundial de trigo actualmente supera los 795 millones de toneladas, de acuerdo con los últimos reportes sobre cereales de grano pequeño, posicionándose como uno de los cultivos de mayor importancia económica y alimentaria a nivel global. La derrama económica generada por este cereal representa un componente fundamental para el sector agrícola, debido a la alta demanda destinada tanto al consumo humano como a la industria. En este contexto, el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada resulta clave para mejorar la productividad del cultivo, optimizar el aprovechamiento de los recursos y reducir posibles efectos negativos sobre los suelos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo cristalino, bajo un manejo de fertilización nitrogenada en la zona del Bajío.Las variables evaluadas fueron días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), porcentaje de roya lineal amarilla y rendimiento de grano (RG), índice de cosecha (IC), biomasa (BIO), peso de mil granos (PMG), granos por metro cuadrado (GPM2) y espigas por metro cuadrado (EPM2). Se realizó el análisis de varianza factorial y las comparaciones de medias. La dosis de 180 kg N ha^{-1} presentó el mayor rendimiento de grano, mientras que la dosis de 240 kg N ha^{-1} registró el valor más bajo. La variedad Barobampo C2015 fue el genotipo de mejor comportamiento agronómico bajo las condiciones evaluadas.

Palabras clave: *Triticum spp.; nitrógeno; rendimiento; variedades*

ABSTRACT

Global wheat production currently exceeds 795 million tons, according to the latest reports on small grain cereals, positioning wheat as one of the most important crops worldwide in terms of economy and food supply. The economic impact generated by this cereal represents a fundamental component for the agricultural sector due to its high demand for both human consumption and industrial use. In this context, proper nitrogen fertilization management is essential to improve crop productivity, optimize resource use, and reduce potential negative effects on agricultural soils. The objective of this study was to determine the behavior of yield components in durum wheat genotypes under nitrogen fertilization management in the Bajío region. The evaluated variables were days to heading (DE), days to maturity (DM), plant height (AP), yellow stripe rust

percentage, grain yield (RG), harvest index (IC), biomass (BIO), thousand kernel weight (PMG), grains per square meter (GPM2), and spikes per square meter (EPM2). Factorial analysis of variance and mean comparisons were performed. The nitrogen rate of 180 kg N ha^{-1} produced the highest grain yield, while the 240 kg N ha^{-1} rate showed the lowest value. The variety Barobampo C2015 showed the best agronomic performance under the evaluated conditions.

Keywords: *Triticum spp.; nitrogen; yield; varieties*

INTRODUCCIÓN

El trigo en un cereal de alto impacto comercial en la actualidad, posicionándose en el tercer lugar en producción mundial (USDA-ERS, 2026). Las estimaciones recientes del mercado global de granos y cereales indican que este sector alcanzó un valor aproximado de 485.6 mil millones de dólares en 2024, con proyecciones de crecimiento superiores a 670 mil millones de dólares para 2033 (Data Horizzon, 2024), de esta manera es visible la importancia de obtener rendimientos sobresalientes y así optimizar los recursos actuales. El uso de fertilizantes en las últimas décadas ha sido de vital importancia debido a las condiciones nutricionales de los suelos agrícolas. (Sánchez y Parra, 2018). El nitrógeno, por ejemplo, su disponibilidad influye en características agronómicas como altura de planta, número de espigas y peso de grano, por lo que un manejo adecuado de este nutriente es fundamental para alcanzar altos niveles de producción (Solís-Moya *et al.,* 2017). Es importante mencionar que la respuesta del cultivo varia de manera considerable por diversos factores como los materiales, las condiciones ambientales etc., debido a esto es necesario evaluar diversas estrategias de dosificación. Rodríguez-García *et al.* (2022) mencionan que el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada permite mejorar el desempeño agronómico y la estabilidad productiva de los genotipos de trigo bajo diferentes condiciones de producción. El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo cristalino, bajo un manejo de fertilización nitrogenada en la zona del Bajío.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante el ciclo Otoño – Invierno (IO) 2024-2025 en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Bajío, ubicado en la Carr. Celaya-SMA s/n ubicado 20° 32’ LN; 100° 48’ LO; y con una altura de 1765 m.s.n.m. Se evaluaron cinco dosis de nitrógeno en cinco variedades de trigo cristalino (*Triticum durum* Desf.), para un total de 25 tratamientos (Cuadro 1), con un calendario de cuatro riegos a los 0-45-75-100 días después de la siembra. Se sembró el día 6 de diciembre del 2024. Los ensayos fueron establecidos bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se hizo a una densidad de 120 kg ha^{-1}. La parcela experimental y útil,

fueron dos surcos 3 m de largo sembrados a doble hilera, separados a 75 cm lo que es 4.5 m^2. Se aplicó la dosis de fertilización de cada tratamiento, la mitad de nitrógeno y todo el P_2O_5 a la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio. Las fuentes empleadas fueron sulfato de amonio con 20.5% de N, y para fósforo Superfosfato de calcio simple (0-20-0). Las malezas de hoja angosta se controlaron con Topik 24EC® a los 28 dias del riego de siembra y las de hoja ancha con Estarane® a los 22 dias y Esteron 47® a los 34 dias. La cosecha se realizó con una cosechadora adaptada para parcelas experimentales, cuando el grano alcanzó un contenido de humedad entre 12 y 14%. Las variedades evaluadas fueron; Aconchí C89, Barobampo C2015, Conasist C2015, Don Goyo C2019 y Rio Bravo C2018.

Cuadro 1. Dosis de fertilización y variedades comerciales evaluadas en el ciclo O-I 2024-2025 en el Campo Experimental Bajío.

Dosis de Nitrógeno	Trat 1	Variedades	Trat 2
00-60-00	A	Aconchi C89	A
00-60-00	A	Barabampo C2015	B
00-60-00	A	Conasist C2015	C
00-60-00	A	Don Goyo C2019	D
00-60-00	A	Rio Bravo C2018	E
120-60-00	B	Aconchi C89	A
120-60-00	B	Barabampo C2015	B
120-60-00	B	Conasist C2015	C
120-60-00	B	Don Goyo C2019	D
120-60-00	B	Rio Bravo C2018	E
180-60-00	C	Aconchi C89	A
180-60-00	C	Barabampo C2015	B
180-60-00	C	Conasist C2015	C
180-60-00	C	Don Goyo C2019	D
180-60-00	C	Rio Bravo C2018	E
240-60-00	D	Aconchi C89	A
240-60-00	D	Barabampo C2015	B
240-60-00	D	Conasist C2015	C
240-60-00	D	Don Goyo C2019	D
240-60-00	D	Rio Bravo C2018	E
300-60-00	E	Aconchi C89	A
300-60-00	E	Barabampo C2015	B
300-60-00	E	Conasist C2015	C
300-60-00	E	Don Goyo C2019	D
300-60-00	E	Rio Bravo C2018	E

Trat 1 = dosis de nitrógeno; Trat 2 = variedades evaluadas. Las variables evaluadas durante el desarrollo del cultivo fueron:

Altura de planta (AP): se midió en centímetros desde el cuello de la base de la planta, hasta la espiguilla terminal. Días a espigamiento (DE): se cuantificó en días, a partir del riego de siembra y hasta que el 50% de las plantas de cada parcela experimental tuvieron las espigas expuestas.

Días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos del riego de siembra al momento en que el 50% de espigas y pedúnculos de las plantas presentaron un color dorado.

Rendimiento (REN): en gramos por parcela y se transformaron a kg ha^{-1}.

% Roya Lineal Amarilla: porcentaje de daño tomado visualmente por la escala modificada de Coob.

IC (índice de cosecha):

$$= \frac{\text{Peso de grano de 100 tallos (g)}}{\text{peso de 100 tallos (g)}}$$

BIO (Biomasa):

$$= \frac{\frac{\text{Rendimiento (Kg } ha^{-1})}{1000}}{\text{Indice de cosecha}}$$

Peso de 1000 granos (PMG): en gramos.

GPM2 (Granos por metro cuadrado):

$$= \frac{\frac{\text{Rendimiento (Kg } ha^{-1})}{10}}{\frac{\text{Peso de mil granos (gr)}}{1000}}$$

EPM2 (Espigas por metro cuadrado):

$$= \frac{\frac{\text{Biomasa(t } ha^{-1})(100)}{Peso\ de\ 100\ tallos(gr)}}{100}$$

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza factorial y las comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para las variables días a espigamiento (DE), altura de planta (AP), roya, rendimiento de grano (RG), peso de mil granos (PMG), índice de cosecha (IC), biomasa (BIO) y gramos por metro cuadrado (GPM2), lo que evidencia una importante variabilidad genética entre los materiales evaluados. Por otro lado, la variable días a madurez (DM) y espigas por metro cuadrado presentaron diferencias significativas, indicando menor variación entre genotipos en comparación con las demás variables. En cuanto a la dosis de nitrógeno (DN), se observaron efectos altamente significativos sobre roya, mientras que en las demás variables no se detectaron diferencias estadísticas. No se observó diferencias significativas para la interacción genotipos por dosis de nitrógeno para ninguna de las variables evaluadas. Los coeficientes de variación se mantuvieron dentro de rangos aceptables, reflejando buena precisión experimental y confiabilidad en los resultados obtenidos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Solís-Moya *et al.* (2018), quienes señalan que la variabilidad genética en trigo permite identificar

materiales sobresalientes en rendimiento y adaptación. De igual manera, Reynolds *et al.* (2021) destacan la importancia de variables como biomasa, rendimiento y componentes agronómicos dentro de programas de mejoramiento genético.

Cuadro 2. Cuadrado medios de los análisis de varianza de las variables de estudio a cinco variedades comerciales con diferentes dosis de nitrógeno.

F. V	gl	DE	DM	AP	ROYA	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
DN	4	1.93	2.68	2.83	147.16 **	464935	24.98	0.001	2.81	1685468	1033
REP	10	3.09	12.57	18.33	79	818502	17.36	0.003	10	3277537	2645
GEN	4	7.90 **	5.12 *	203.66 **	1476.33 **	19443507 **	167.68 **	0.009 **	55.62 **	87405404 **	6730 *
DN*GEN	16	1.16	0.97	2.2	49.66	396097	17.71	0.001	2.67	2393642	1520
Error	40	1.44	1.55	5	31.5	34897	12.62	0.002	4.46	2160102	1848
Total	74										
CV		1.48	0.95	2.86	41.47	8.68	6.9	11.09	12.96	11.05	14.41
Media		81.06	130.04	78.06	13.53	6802.4	51.48	0.42	16.3	13293	298

FV = fuente de variación; C.V. = coeficiente de variación; FV = Factor de Variación; DN =Dosis de nitrógeno; REP = Repetición; Gen = Genotipo GL = Grados libertad; DE = Días a espigamiento; DM = Días a madurez; AP = Altura de planta; RG = Rendimiento de grano; PMG = Peso de mil granos; IC = Índice de cosecha; BIO = Biomasa; GPM2 = Granos por metro cuadrado; EPM2 = Espigas por metro cuadro.

Como se observó en el análisis de varianza no se observaron diferencias significativas entre dosis de nitrógeno en DE, DM, AP, RG, PMG, IC, BIO, GPM2 y EPM2, pero si en roya donde el tratamiento sin nitrógeno registro menores valores que las dosis de 120 y 180 kg de nitrógeno por ha (Cuadro 3). Con los resultados obtenidos podemos confirmar lo reportado por Solís-Moya *et al.* (2016), quienes mencionan que la respuesta agronómica del trigo puede variar dependiendo del manejo nutrimental y del potencial genético de los materiales. De igual manera, Villaseñor-Mir *et al.* (2021) señalan que variables como rendimiento, biomasa y componentes del rendimiento son fundamentales en la evaluación de genotipos y prácticas de manejo en trigo.

Cuadro 3. Comparaciones de medias de las variables de estudio a bajo diferentes dosis de nitrógeno en el Bajío.

DN	DE	DM	AP	ROYA	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
A (00)	80	130	78	10	6853	50	0.41	16.81	13793	303
B (120)	81	130	78	16	7066	54	0.43	16.46	13382	294
C(180)	81	130	78	17	6760	51	0.43	16.49	13321	309
D(240)	81	130	77	12	6586	51	0.41	16.04	13029	298
E (300)	81	131	78	13	6746	52	0.43	15.70	12945	287
DHS	1.25	1.30	2.33	5.85	616.08	3.70	0.04	2.20	1532.00	44.83

DSH=diferencia significativa honesta; DN =Dosis de nitrógeno; DE = Días a espigamiento; DM = Días a madurez; AP = Altura de planta; RG = Rendimiento de grano; PMG = Peso de mil granos; IC = Índice de cosecha; BIO = Biomasa; GPM2 = Granos por metro cuadrado; EPM2 = Espigas por metro cuadro.

Las comparaciones de medias entre genotipos evaluados con diferentes dosificaciones de nitrógeno mostraron diferencias entre los genotipos evaluados en las variables agronómicas y de rendimiento. En días a espigamiento (DE), el genotipo Barobampo C2015 presentó el valor más alto con 82 días, mientras que Aconchi C89 registró el menor valor con 80 días. Para días a madurez (DM), Barobampo C2015 mostró el valor más

alto con 131 días, mientras que Aconchi C89 registró el menor valor con 129 días. En altura de planta (AP), el genotipo Conasist C2015 alcanzó la mayor altura con 82 cm, mientras que Rio Bravo C2018 presentó el menor valor con 74 cm. Respecto a roya, Barobampo C2015 registró el menor valor con 0% inferior significativamente ($p \leq 0.05$) a la severidad observada en el resto de las variedades que registraron valores entre 13 y 28%. En rendimiento de grano (RG), el genotipo Barobampo C2015 presentó el mayor rendimiento con 8426 kg ha^{-1}, mientras que Don Goyo C2019 mostró el valor más bajo con 5561 kg ha^{-1}. Para peso de mil granos (PMG), Don Goyo C2019 registró el valor más alto con 54 g, mientras que Aconchi C89 presentó el menor con 48 g. En biomasa (BIO), Barobampo C2015 mostró el valor más alto con 19, mientras que Don Goyo C2019 presentó el menor con 14. En gramos por metro cuadrado (GPM2), Barobampo C2015 registró el valor más alto con 17083, mientras que Don Goyo C2019 presentó el menor valor con 10406. Finalmente, en espigas por metro cuadrado (EPM2), Barobampo C2015 presentó el valor más alto con 328, mientras que Don Goyo C2019 mostró el menor con 272.Estos resultados coinciden con lo reportado por Pérez-Herrera *et al.* (2019), quienes señalan que el rendimiento y los componentes agronómicos del trigo pueden variar considerablemente entre genotipos dependiendo de su adaptación y comportamiento sanitario. Asimismo, Rodríguez-García *et al.* (2022) mencionan que la selección de materiales sobresalientes debe considerar tanto el potencial productivo como la tolerancia a enfermedades para identificar genotipos con mejor desempeño en campo.

Cuadro 4. Comparaciones de medias de las variables de estudio a 5 genotipos de trigo cristalino en el Bajío con distintas dosificaciones de nitrógeno.

Genotipos	DE	DM	AP	ROYA	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
a (Aconchi C89)	80	129	78	13	6021	48	0	16	12519	307
b (Barabampo C2015)	82	131	81	0	8426	49	0	19	17083	328
c (Conasist C2015)	81	130	82	14	6602	50	0	16	13214	296
d (Don Goyo C2019)	81	130	75	28	5561	54	0	14	10406	272
e (Rio Bravo C2018)	81	130	74	13	7401	56	0	17	13247	288
DHS	1.25	1.3	2.33	5.85	616.08	3.7	0.04	2.2	1532	44.83

DSH=diferencia significativa honesta; DE = Días a espigamiento; DM = Días a madurez; AP = Altura de planta; RG = Rendimiento de grano; PMG = Peso de mil granos; IC = Índice de cosecha; BIO = Biomasa; GPM2 = Granos por metro cuadrado; EPM2 = Espigas por metro cuadro.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se observaron diferencias entre las dosis de nitrógeno y los genotipos evaluados en las variables agronómicas y de rendimiento. La dosis de 180 kg N ha^{-1} presentó el mayor rendimiento de grano, mientras que la dosis de 240 kg N ha^{-1} registró el valor más bajo. Asimismo, la mayor incidencia de roya se observó en la dosis de 180 kg N ha^{-1}, mientras que la dosis sin nitrógeno presentó el menor porcentaje. Entre los genotipos, Barobampo C2015 destacó por presentar el mayor rendimiento de grano, **mayor** biomasa y mayor número de espigas por metro cuadrado, además de no registrar incidencia de roya amarilla. En contraste, Don Goyo C2019 mostró el menor rendimiento y el mayor porcentaje de roya. Por

otro lado, Conasist C2015 presentó la mayor altura de planta, mientras que Aconchi C89 destacó por su menor número de días a espigamiento y madurez. En general, los resultados permitieron identificar diferencias importantes en la respuesta de los materiales y confirmar a Barobampo C2015 como el genotipo de mejor comportamiento agronómico bajo las condiciones evaluadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Data Horizzon Research. (2024). Grain and cereal food market size, share and forecast 2024–2033. Data Horizzon Research

Pérez-Herrera, P., Huerta Espino, J., Villaseñor Mir, H. E., y Solís Moya, E. (2019). Evaluación agronómica de líneas avanzadas de trigo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1325–1336.

Reynolds, M. P., Braun, H. J., y Trethowan, R. (2021). Challenges to international wheat improvement. *The Journal of Agricultural Science*, 159(3), 145–156.

Rodríguez-García, M. F., Villaseñor Mir, H. E., Huerta Espino, J., y Espitia Rangel, E. (2022). Comportamiento agronómico y sanitario de genotipos de trigo en ambientes de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(2), 215–223.

Sánchez, P. A., y Parra, M. A. (2018). Manejo de fertilización y nutrición vegetal en sistemas agrícolas modernos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 1021–1034.

Solís-Moya, E., Huerta-Espino, J., Pérez-Herrera, P., Villaseñor-Mir, H. E., Ramírez-Ramírez, A., y Ledesma-Ramírez, L. (2017). Cisne F2016: nueva variedad de trigo harinero de gluten fuerte para El Bajío, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1911-1917.

Solís-Moya, E., Huerta-Espino, J., Villaseñor-Mir, H. E., Pérez-Herrera, P., y Ramírez-Ramírez, A. (2018). Evaluación agronómica y comportamiento de genotipos de trigo en ambientes de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 755–767.

United States Department of Agriculture - Economic Research Service (USDA-ERS). (2026). Wheat sector at a glance. USDA Wheat Overview

Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espino, J., Solís-Moya, E., Rodríguez-García, M. F., Martínez-Cruz, E., y Espitia-Rangel, E. (2021). Mejoramiento genético en trigo realizado por el INIFAP desde 1985 a 2020. INIFAP.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

RENDIMIENTO ENTRE FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS DE LA RAZA CÓNICO NORTEÑO DE XICHÚ

Maricruz Martínez Lara[1]; Francisco Chablé Moreno[2]; Alfredo Josué Gámez Vázquez[3]; Francisco Cervantes Ortiz[2]; Jesús Frías Pizano[2], Ricardo Yáñez López[2]; J. Guadalupe García Rodríguez[2]

[1]Estudiante del Doctorado en Ciencias en producción Agroalimentaria del TecNM-Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, Celaya, México. [2]Docentes del TecNM-Roque, Carretera Celaya Juventino Rosas, Km.8, Celaya, México. [3]Investigador INIFAP-CIAP/BAJIO, Carretera Celaya San Miguel de Allende Kilómetro 6.5, Celaya, Guanajuato. Autor de correspondencia: maricruzml091296@gmail.com

RESUMEN

En México, centro de origen del maíz, la diversidad genética, de los maíces nativos; está siendo erosionada y desplazada por híbridos comerciales, lo que representa un riesgo que reduce la variabilidad existente. Entre las diferentes razas, la cónico norteño, se ha cultivado en altitudes superiores a los 2000 m, donde ha mostrado adaptación a déficit hídrico ocasionado por la sequía, temporales irregulares y altas temperaturas. El objetivo de la investigación es evaluar los componentes de rendimiento de una colecta original (S_O) sobresaliente, obtenida en la localidad de Xichú, en Guanajuato y tres subpoblaciones seleccionadas para mejorar el rendimiento. El estudio se realizó en el campo experimental del TecNM-Roque durante el ciclo agrícola de primavera – verano de 2025, evaluadas con un diseño de bloques completos al azar. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en altura de planta, número de hojas y longitud de espiga, el número de mazorcas permaneció constante, por lo que no se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). En las variables de rendimiento, diámetro y peso de mazorca, diámetro y peso de olote, así como en longitud de mazorca, se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). La subpoblación 1 se destacó por producir mazorcas más largas, con mayor número de granos por hilera y mayor peso, lo que se tradujo en una mayor productividad. En contraste, la subpoblación 2 presentó valores inferiores en la mayoría de los parámetros evaluados. La selección de genotipos sobresalientes parece ser eficaz para mejorar el rendimiento en esta raza de maíz.

Palabras clave: *razas, maíz nativo, cónico norteño, medios hermanos, rendimiento.*

ABSTRACT

Mexico, the center of origin of maize, is experiencing erosion of the genetic diversity of native varieties due to displacement by commercial hybrids, which poses a risk by reducing existing variability. Within the different races, Conico Norteño has been cultivated at altitudes above 2000 m, demonstrating adaptation to water deficit caused by drought, irregular rainfall, and high temperatures. The objective of this study was to evaluate the yield components of an outstanding original collection (S_O) obtained in Xichu, Guanajuato, and three subpopulations

selected to improve productivity. The research was conducted at the TecNM-Roque experimental field during the 2025 spring–summer agricultural cycle, using a randomized complete block design. Analysis of variance revealed significant differences ($P \leq 0.05$) in plant height, leaf number, and tassel length, while the number of ears remained constant, showing no significant differences ($P \leq 0.05$). For yield-related variables, including ear diameter and weight, cob diameter and weight, and ear length, significant differences were observed ($P \leq 0.01$). Subpopulation 1 produced longer ears with a greater number of kernels per row and higher weight, resulting in increased productivity. In contrast, Subpopulation 2 exhibited lower values across most evaluated parameters. The selection of outstanding genotypes appears to be an effective strategy for improving yield in this maize race.

Keywords: *landrace maize, conico norteño, half-sibs, yield.*

INTRODUCCIÓN

México es el centro de origen del maíz, se han reportado 64 razas de las cuales 59 son nativas, son un reservorio de variabilidad genética de gran importancia en programas de mejoramiento genético (CONABIO, 2020). Las poblaciones nativas, se consideran como germoplasma endémico de regiones específicas, vinculados a sistemas de producción tradicional y labores de cultivo generalmente manual. En general las áreas de cultivos de los maíces nativos, los cuales están siendo desplazados por la introducción de híbridos de alto rendimiento (Monroy-Sais *et al*., 2024). El empleo de germoplasma nativo representa una estrategia de resiliencia de los custodios de los maíces nativos en las comunidades rurales, que enfrentan la crisis climática, pobreza en el suelo, pero con necesidades de autosuficiencia alimentaria, en este sentido la base genética de los maíces nativos se va reduciendo debido a su proceso natural de endogamia de la propia población, en consecuencia se han formado poblaciones con reducida producción debido a la exposición continua a limitantes genéticas dentro de las zonas ecológicas de producción (Rincón-Sánchez y Ruiz-Torres, 2018)

La raza cónico norteño se caracteriza por ser un recurso fitogenético con capacidad de desarrollo bajo temporales erráticos, precipitación limitada y temperaturas altas (Ruiz-Corral *et al*., 2013). El mejoramiento de las poblaciones de maíz se fundamenta en el análisis de variables morfométricas como la arquitectura de la planta y del componente del rendimiento (diámetro y número de hileras, granos por hilera y peso de mazorca) (Rodríguez *et al*., 2016). En este sentido, la selección recurrente de familias de medios hermanos se consolida como una estrategia convencional de alta eficacia, permitiendo la acumulación progresiva de alelos de valor agronómico y la mitigación de la depresión por endogamia (Fawad *et al*., 2019). Las familias de medios hermanos se definen como la progenie de un progenitor en común (progenitor femenino), mientras que el polen es un conjunto heterogéneo de donantes de identidad no especificada (Díaz-Chuquizuta *et al*., 2025).

De acuerdo con el INEGI (2010), Xichú cuenta con un rango de temperatura de 14 – 24° C, con precipitación de 500 – 900 mm, predominan el clima semiseco semicálido, donde el 4.79 % del suelo se emplea para la agricultura manual estacional. Resulta de especial relevancia el análisis del germoplasma de la raza de maíz Cónico Norteño, y los mecanismos de adaptación local que presenta al nicho agroecológico, sumado a atributos genotípicos. El objetivo de la investigación es evaluar los componentes de rendimiento de familias de medios hermanos (subpoblaciones 1, 2 y 3) y la población original (S_0) de Xichú de la raza de maíz cónico norteño.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el campo experimental del TecNM-Roque ubicado en la Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, con ubicación geográfica de 20° 34´ 54,24" latitud N y 100° 49´ 35,34" Longitud O, y altitud de 1774 m, con una temperatura media de 21 °C, precipitación media anual de 600 a 800 mm, con clima de cálido subhúmedo, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (García, 1973) y con predominancia de suelo de tipo vertisol (INEGI, 2017).

Etapas de evaluación. El experimento se evaluó en dos etapas, la primera de las cuales se realizó con la finalidad de explorar la variabilidad fenotípica de las mazorcas en la población original (S_0) y consistió en evaluar dos genotipos sembrados el 12 de noviembre de 2024, donde se evaluaron la población original (S_0) y el primer ciclo de mejoramiento genético por selección de medios hermanos en campo (S_1). En este mismo ciclo y previo a la cosecha se derivaron tres subpoblaciones y con base en un segundo ciclo de selección de medios hermanos; la siembra de esta segunda etapa fue el 12 de marzo de 2025 y la cosecha de estas tres subpoblaciones se realizó en agosto de 2025. La segunda etapa consistió en evaluar en campo las tres subpoblaciones obtenidas en un segundo ciclo de selección de familias de medios hermanos a partir de la población S_1. Ambas evaluaciones se establecieron en el campo experimental del TNM-Roque a las cuales se les aplicaron tres riegos de auxilio.

Establecimiento y conducción. La preparación del suelo, fue bajo las recomendaciones técnicas consignadas en la Agenda Técnica Agrícola de Guanajuato (INIFAP, 2017). La siembra de la primera etapa fue en OI, 2024/25 y de la segunda fue marzo (PV 2025). La fertilización fue 120 – 40 – 00, el 50 % del nitrógeno se aplicó al momento de la siembra, en combinación de urea con MAP soluble (12-60-00), la restante al momento del aporque. Para el control de maleza se aplicó el herbicida selectivo Sansón® (i.a. Nicosulfuron:2-(4,6-dimetoxipirimidin-2-ilcarbomoilsulfamoil)-N, Ndimetilnicotinamida) en dosis de 1 L ha^{-1}, y el herbicida Diquat® (9,10-dihidro-8a, 10a-diazoniafenantrénico dibromuro). El control de plagas (Trips y Gusano cogollero) fue con Malatión® (dietil (dimetoxitiofosforiltio) succinato) en dosis de 1 L ha^{1} y dos aplicaciones de Lorsban granulado

al 3% (i.a. Clorpirifos etil: O, O-dietil O-(3,5,6-tricloro 2-pirinidil) fosorotioato), en dosis de 10 kg ha^{-1}. Los riegos fueron con una periodicidad de 25 días (cuatro riegos totales).

Genotipos evaluados. La población original de la raza de maíz blanco cónico norteño (S_O) fue resultado de la donación de 30 agricultores rurales, custodios de los maíces nativos, la colecta se realizó en el Ejido Puerto del Pilón constituido por dos comunidades San Miguel de las Casitas y el Ocotero, ambas en el municipio de Xichú, Guanajuato, en el ciclo (P-O, 2023), la selección del genotipo S_1 se realizó con base en la longitud, número de hileras granos por hilera y peso de la mazorca. Las subpoblaciones se obtuvieron con base en las siguientes características: 1) plantas con hoja ancha y ondulada, con dos mazorcas (Subpoblación 1); 2) plantas con tallo morado y una mazorca (Subpoblación 2) y 3) plantas de tallo verde y una mazorca (Subpoblación 3).

Variables evaluadas

a) primera etapa:

Las variables evaluadas de fueron altura de la planta (AltPl, cm), número de hojas total (NoHjT), número de hojas debajo de la mazorca (NoHjAMz), ancho de hoja (AnHj, cm), longitud de espiga (LongEsp, cm), total de espiguillas (TotEsp), número de mazorcas (NoMz).

b) Segunda etapa:

Número de hileras por mazorca (NoHi), número de granos por hilera (NoGHi), longitud de mazorca (LongM, cm), diámetro de mazorca (DiaM, cm), diámetro de olote (Olote, cm), peso de olote (PeOlote, g) y peso de 100 semillas (100sem, g). Para rendimiento de grano (RG, kg ha^{-1}) por parcela se realizó con un 14 de % de humedad del grano y se aplicó la fórmula: R = (PC * D * MS) /AP * 0.80 * 10,000, Donde: PC = Peso de campo, D = Porcentaje de grano, expresado en forma decimal, MS = Materia seca (100 - % de humedad) en forma decimal, AP = Área de la parcela neta.

Análisis estadístico. El análisis de datos se realizó con base en un diseño experimental de bloques completos al azar y se aplicó una a una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.5$), además de realizar un análisis multivariado de componentes principales (ACP). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS v.9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables altura de la planta (AltPl), número de hojas total (NoHjT) y longitud de espiga (LongEsp). Aunque existe diferencias en las características morfométricas, la diferencia no rebaso el valor crítico de la media de NoMz ($P \leq 0.05$). Se

observa que las plantas S_1 presentaron mayor porte de planta, número total de hojas y de hojas por debajo de la mazorca, aunque estas presentaron laminas foliar más angostas; además de presentar menor longitud de espiga. Los CV (%) en la población S_O fueron altos superando el 22.5 %, debido principalmente a la alta heterogeneidad entre las plantas de la población.

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias de variables agronómicas de una población original de cónico norteño (S_O) y una selección (S_1).

Genotipo	AltPl	NoHjT	NoHjAbMz	AnHj	LongEsp	TotEsp	NoMz
S_1	234 a	12.1 a	6.0 a	6.7 b	23.0 b	9.10 b	1.4 a
S_O	209 b	9.2 b	4.7 b	7.7 a	26.3 a	11.5 a	1.4 a

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales. AltPl=altura de planta adulta, NoHjT=número de hojas totales, NoHjAbMz= número de hojas debajo de la mazorca, AnHj= ancho de hoja, LongEsp=Longitud de espiga, TotoEsp= total de espigas y NoMz= número de mazorcas.

El Análisis de Componentes Principales (CP) con las variables productivas (Figura 1) explica el 99.95 % de la varianza total del experimento, principalmente a través del CP!, que explica el 97.98 %, además de que en dicho plano cartesiano se muestran diferencias entre las variables peso de 100 semillas, número de granos por hilera y peso de olote, que favorecieron a las Subpoblaciones 1 y 3, con la diferencia entre ambas que el peso de mazorca mejoró en la Subpoblación 1. Ambas subpoblaciones superaron en estas características a la población original (S_O). Es importante decir que esta población original presentó menores valores en peso de olote, número de granos por hilera, peso de 100 semillas, número de hijos y longitud de mazorca.

El ciclo y criterios de selección dieron lugar a tres genotipos diferentes a la población original, donde la subpoblación 2, presentó el menor rendimiento, con base en un menor peso de mazorca y menor diámetro de olote, que propició un menor diámetro de mazorca.

La subpoblación 1 (Subp1) produjo mazorcas con mayor número de granos por hileras, longitud de mazorca, peso de mazorca y por lo tanto mayor productividad (Figura 2 a y Figura 3 a). Mientras que la subpoblación 2 (Subp2) presentó valores inferiores en la mayoría de las variables evaluadas, generó mazorcas de menor tamaño y con ello menor rendimiento (Figura 1 b y Figura b), la población original (S_O) presentó mejores características en la mazorca en comparación con la subpoblación 2. De acuerdo con los resultados de la estimación de rendimiento se puede observar que la subpoblación 1 y la población S_O (población original) presentaron los valores promedios más altos en toneladas por hectárea.

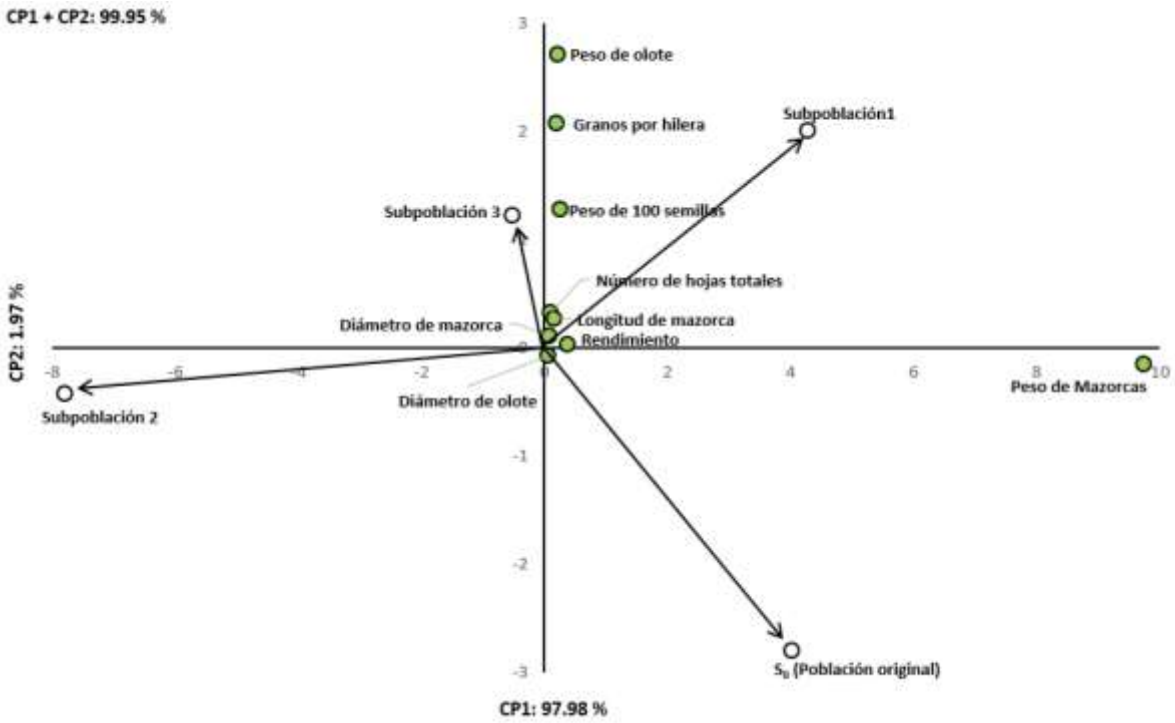


Figura 1. Dispersión de las poblaciones de maíz raza cónico norteño y su relación con el rendimiento de grano y sus componentes

Ordas *et al*. (2023) empleó el método de medios hermanos en una variedad nativa de España, menciona que dos poblaciones redujeron el rendimiento, pero en el resto de la población incremento, así mismo menciona que después de tres ciclos existe la fijación de alelos favorables y dichas poblaciones sobresalientes son de interés para la formación de líneas. En este trabajo experimental la subpoblación 2 presentó menor número de hileras, número de granos por hilera, peso de mazorca y peso de 100 semillas (Figura 5), concordando con lo mencionado por Ordas *et al*. (2023), dentro del misma población se observó variación, dos subpoblaciones con mejores características en comparación con la población original y la subpoblación 2 (Figura 2).



Figura 2. Características morfológicas de las mazorcas de las tres subpoblaciones. a) Subpoblación 1, b) Subpoblación 2, c) Subpoblación 3.

Mascarenhas *et al*. (2024) menciona que al evaluar dos ciclos de selección recurrente de familias de medios hermanos, el diámetro y longitud de la mazorca presentaron mayor heredabilidad y que al continuar con el

proceso de selección se puede formar una variedad adaptada a condiciones locales, en la Subp3 y Subp1 produjeron mazorcas grandes y con ello mayor peso en grano y mazorca en el primer ciclo de selección (Figura 3).



Figura 3. Conformación de las mazorcas (granos por hilera) de maíz de la raza cónico norteño. a) Subpoblación 1, b) Subpoblación 2, c) Subpoblación 3.

En el caso de la subpoblación 1 y 2 tras un ciclo de selección a través de medios hermanos se logró in incremento en el número de hileras, número de granos, peso de mazorca y peso de 100 semillas (Figura 1), indicando mejora en el rendimiento (Figura 3 y Figura 5), Juárez-Lorenzo *et al*. 2025 tras dos ciclos de selección en variedades nativas de maíz (ratón) logró incrementar el rendimiento en 18.2% por ciclo, características conservadas después del proceso de selección.



Figura 4. Características físicas del olote de maíz de la raza cónico norteño. a) Subpoblación 1, b) Subpoblación 2, c) Subpoblación 3.

Resultados de Guimarães *et al*. (2018) logró el incremento en las variables de peso de 100 semillas y peso de la mazorca al realizar ocho ciclos de selección recurrente de medios hermanos en maíz palomero con el 3.61 % ambas variables presentaron una correlación positiva impactando en el rendimiento. En nuestra investigación en el primer ciclo de selección se consideró las características físicas de la mazorca, los resultados obtenidos destacan las subpoblaciones 1 y 3 con incremento de longitud de mazorca (LongMz), número de granos por hilera (NoGHi) y peso de mazorca (PeMz). Melo *et al*. (2019) sugiere que el método de medios hermanos es eficaz, resalta la relación del rendimiento con el peso de la mazorca y el diámetro del tallo, indica que la floración femenina y masculina impacta en el rendimiento siendo favorables los genotipos precoces. La

Subp2 presentó menor diámetro de olote (DiaOl) y diámetro de mazorca (DiaMz) (Figura 3), resultando en semillas de menor tamaño y con ello menor rendimiento (Figura 5).



Figura 5. Características físicas de las semillas de maíz de la raza cónico norteño. a) Subpoblación 1, b) Subpoblación 2, c) Subpoblación 3.

La colecta de maíz blanco de la raza cónico norteño que corresponde a la S_0 paso por un proceso de adaptación del ejido Puerto de Pilón Xichú, Guanajuato (2400 msnm) a Celaya, Guanajuato (1775 msnm), expresándose fenotípicamente diferente en el segundo ciclo (datos presentados en esta investigación), Hernández-Caldera (2023) menciona que la transferencia de materiales genéticos de valles altos (2700 msnm) causa precocidad en la floración y falta de sincronía floral aunado a baja productividad, misma situación se está observando en el maíz blanco de la raza Cónico Norteño (datos no presentados), al incrementar los ciclos de selección en Celaya, Gto. se espera estabilizar las poblaciones y obtener el mayor potencial.

CONCLUSIONES

La selección por el método de medios hermanos es eficaz para incrementar el rendimiento en la raza cónico norteño, existe evidencias de realizar al menos tres ciclos de selección para fijar dichas características y realizar las evaluaciones correspondientes. A través de un ciclo de selección se logró incrementar el número de hileras y granos por hileras, dado que cónico norteño presenta adaptabilidad a condiciones de estrés hídrico resulta de interés rescatar el germoplasma de la raza y evaluar el rendimiento bajo estas limitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). Razas de maíz de México https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas -de-maiz.

Díaz-Chuquizuta, P., Jara-Calvo, T. W., Campos-Amasifuén, H. M., Valdés-Rodríguez, O. A. and Hidalgo-Meléndez, E. (2025). Avance genético mediante selección recurrente de familias de medios hermanos mazorca por surco, en maíz amarillo duro (*Zea mays*) en el trópico. *Tropical and Subtropical Agroecosytems.* 28(2). DOI: http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5698

Fawad, S., Amir, S., Tanvir, B., Fazal H., Muhammad, A., Abdullah, A., Abdul, H., Mahrukh, M. and Zia, Ur R. (2019). Impact of half-sib family recurrent selection on grain yield in maize populationZM-309. *Pure and Applied Biology*. 8(3): 2399-2408. DOI: http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2019.80185

García, E. (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (adaptación a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. México. 264 p

Guimarães, A.G.; Amaral Júnior, A.T. Do.; Lima, V.J. De; Leite, J.T.; Scapim, C.A.; Vivas, M. (2018). Genetic gains and selection advances of the UENF-14 popcorn population. *Revista Caatinga*, v.31, p.271-278, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n202rc.

Hernández-Caldera, R. E., García-De los Santos, G., Zepeda-Bautista, R., Arellano-Vázquez, J. L., Gámez-Vázquez, A. J. y Ávila-Perches, M. A. (2023). Estabilidad del rendimiento de semilla de progenitores de híbridos de maíz de Valles altos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46 (4): 349-356. DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.349

INEGI (2010). Compendio de información geográfica municipal. Xichú, Guanajuato. Consultado el 27/04/2026. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=11045#collapse-Resumen

INEGI (2017). Marco Geoestadístico Municipal. versión 4.3. Celaya, Guanajuato.

INIFAP, I. N. (2017). Agenda Técnica Agrícola de Guanajuato. México. Consultado el 28/11/2025 en: https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?%2f%2f=AT

Juárez-Lorenzo, F., Rincón-Sánchez, F., Ruiz-Torres, N.A., Benavides-Mendoza, A., y Sánchez-Ramírez, F.J. (2025). Selección familiar dentro de seis variedades nativas de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, *48*(1): 3-13. Epub 17 de noviembre de 2025.https://doi.org/10.35196/rfm.2025.1.3

Masarenhas, S.N.A. do P., Almeida, I.F. de, Almeida, R.V. de, Pinto, C.R.B. and Fernandes, G.A. (2024). Evaluation of half-sib maize progenies through the recurrent selection method. *Revista Inova Ciencia & Tecnología, 1.*

Melo, A. V. de., Santos, V. M., Taubinger, M., Costa, R. C. da., and Santos, M. P. de A. (2019). Seleção de progênies de meios-irmãos de milho para condição de segunda safra no sul do Tocantins. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia,* 12(1): 59-68. DOI: https://doi.org/10.5935/PAeT.%20V12.N1.06

Monroy-Sais., A. S., Tobin, D., Bellon, M. R., Astier, M., Cibrián-Jaramillo, A., Gálvez-Reyes, N., Mastretta-Yanes, A., Ruiz-Arocho, J., Wegier, A and Chen, Y. H. (2024). Smallholder farmers' diverse values in maize landrace conservation: A case study from Chiapas Mexico. *Journal of Rural Studies*. 110,103347. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103347

Ordás, B., Malvar, R. A., Revilla, P. (2023). Effect of three cycles of recurrent selection for yield in four Spanish landraces of maize. *Euphytica* 219, 77. https://doi.org/10.1007/s10681-023-03199-w

Rincón-Sánchez, F., & Ruiz-Torres, N. A. (2018). Genetic potential and usefulness of native maize populations in developing novel germplasm for current and upcoming goals. *In Rediscovery of Landraces as a Resource for the Future*. DOI: https://doi.org/10.5772/intechopen.71360

Rodríguez Pérez, G., Zavala García, F., Gutiérrez Diez, A., Treviño Ramírez, J. E., Ojeda Zacarías, M. C., y Mendoza Elos, M. (2016). Estrategias de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos. Phyton (Buenos Aires), 85(2): 194-202.

Ruiz-Corral, J.A., Hernández-Casillas, J.M., Sánchez-González, J.J., Ortega-Corona, A., Ramírez-Ojeda, G., Guerrero-Herrera, M.J., Aragón-Cuevas, F., Vidal-Martínez, V.A., de la Cruz-Larios, L. (2013). Ecología, adaptación y distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz. Tepatitlán de Morelos: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN: 978-607-37-0187-7

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE 36 GENOTIPOS DE TRIGO CRISTALINO EN EL BAJÍO

Lidia Alejandra Rodríguez Zermeño[1]; Ernesto Solís Moya[1]; Lourdes Ledesma Ramírez[1]; Francisco Paúl Gámez Vázquez[1]; Juan José García Rodriguez[1]; José Francisco Rodríguez Rodríguez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5 Celaya, Guanajuato, México. *Autor para correspondencia: 96.lidiarz@gmail.com

RESUMEN

El cultivo de trigo (*Triticum spp.)* es una de las gramíneas más importantes a nivel mundial desde inicios de su domesticación hace más de 10,000 años. Actualmente, dentro de la industria harinera, el trigo se clasifica en diferentes grupos como fuertes, suaves, medios y duros (cristalinos), los cuales presentan características específicas que determinan su uso industrial. Cada grupo posee propiedades particulares relacionadas con la calidad del grano y del gluten, lo que los hace indispensables para distintos procesos de transformación. En el caso del trigo cristalino, su importancia radica principalmente en la elaboración de pastas, debido a las características de dureza y calidad que presenta este tipo de grano. El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de las características agronómicas de 36 genotipos de trigo en la zona del Bajío. Las variables evaluadas fueron días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), porcentaje de roya lineal amarilla y rendimiento de grano (RG). Los ensayos fueron establecidos bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias. De manera general se observó variabilidad entre genotipos. En conjunto, los genotipos más sobresalientes fueron Línea 11, Línea 22 y Línea 24, al combinar buen rendimiento, comportamiento agronómico adecuado y menor afectación por la roya lineal.

Palabras clave: *Triticum spp.; rendimiento; variedades.*

ABSTRACT

Wheat (*Triticum spp*.) is one of the most important cereal crops worldwide since its domestication more than 10,000 years ago. Currently, within the milling industry, wheat is classified into different groups such as strong, soft, medium, and hard (durum) wheats, each with specific characteristics that determine their industrial use. Each group possesses particular properties related to grain and gluten quality, making them essential for different processing purposes. In the case of durum wheat, its importance lies mainly in pasta production due to the hardness and quality characteristics of this type of grain. The objective of this study was to determine the behavior of agronomic characteristics in 36 wheat genotypes in the Bajío region. The evaluated variables were days to heading (DE), days to maturity (DM), plant height (AP), yellow stripe rust percentage, and grain yield

(RG). The trials were established under a randomized complete block design with three replications. Analysis of variance and mean comparisons were performed using the obtained data. In general, variability among genotypes was observed. Overall, Lines 11, 22, and 24 were the most outstanding genotypes, combining good yield, adequate agronomic performance, and lower disease incidence.

Keywords: *Triticum spp.; yield; varieties.*

INTRODUCCIÓN

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia, es uno de los tres cereales más producidos globalmente, junto al maíz (*Zea mays* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.) más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad (Estrada *et al.,* 2014). De acuerdo con la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), la producción mundial de trigo en 2024 se estimó en 795 a 799 millones de toneladas, manteniéndose como uno de los cereales de mayor producción a nivel global. China, India y Rusia destacan entre los principales países productores de este cereal (FAO, 2025). En la república mexicana, la producción de trigo durante el ciclo 2024–2025 se estimó en aproximadamente 2.6 millones de toneladas, considerando tanto trigo panificable como trigo cristalino, aunque con una disminución importante respecto a ciclos anteriores debido principalmente a condiciones de sequía y reducción de superficie sembrada (FIRA, 2025). El trigo se clasifica en diferentes grupos de acuerdo con sus características genéticas, agronómicas e industriales, destacando principalmente los trigos harineros y los trigos cristalinos, los cuales presentan diferencias en textura de grano, contenido de proteína y uso final (Solís Moya y Villaseñor Mir, 2019). Los trigos cristalinos (*Triticum durum* L.) representan un grupo de gran importancia a nivel mundial debido a su uso en la elaboración de pastas, sémolas y otros productos de alto valor comercial (Peña, Amaya y Rajaram, 2016). Sin embargo, el rendimiento y adaptación de los genotipos pueden variar considerablemente dependiendo de factores como el ambiente, el ciclo biológico y la presencia de enfermedades, particularmente la roya amarilla, considerada una de las limitantes del cultivo (Reynolds, Braun y Trethowan, 2021). El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de las características agronómicas de 36 genotipos de trigo en la zona del Bajío.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante el ciclo Otoño – Invierno (IO) 2024-2025 en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Bajío, ubicado en la Carr. Celaya-SMA s/n a 20° 32’ LN; 100° 48’ LO; con una altura de 1765 m.s.n.m. Se evaluaron 36 genotipos de trigo (*Triticum spp* L.). con un calendario de cuatro riegos (0-45-75 y 100 días), la fecha de siembra fue el día 26 de noviembre del 2024. Los ensayos fueron establecidos bajo el diseño experimental de bloques completos al azar

con tres repeticiones. La siembra se hizo a una densidad de 120 kg ha^{-1}. La parcela experimental y útil, fueron dos surcos 3 m de largo sembrados a doble hilera, separados a 75 cm lo que es 4.5 m^2. La dosis de fertilización 240-60-00, la mitad de nitrógeno y todo el P_2O_5 a la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio Las fuentes empleadas fueron sulfato de amonio con 20.5% de N, y para fósforo Microesentials®. Las malezas de hoja angosta se controlaron con Topik 24EC® a los 28 dias del riego de siembra y las de hoja ancha con Estarane® a los 22 dias y Esteron 47® a los 34 dias. La cosecha se realizó con una cosechadora adaptada para parcelas experimentales, cuando el grano alcanzó un contenido de humedad entre 12 y 14%.

Los genotipos evaluados en el estudio fueron: Chapultepec, Barobampo C2015, Línea 3, Línea 4, Conasist C2015, Línea 6, Línea 7, Rio Bravo C2018, Línea 9, Línea 10, Línea 11, Línea 12, Línea 13, Línea 14, Quetchehueca Oro C2013, Baroyeca Oro C2013, Línea 17, Línea 18, Línea 19, Línea 20, Línea 21, Línea 22, Línea 23, Línea 24, SPB, Línea 26, Línea 27, Línea 28, Line 29, Línea 30, Anatoly C2011, Ambar, Línea 33, Aconchi C89, Línea 35 y Línea 36. Las variables evaluadas durante el desarrollo del cultivo fueron:

Altura de planta (AP): se midió en centímetros desde el cuello de la base de la planta, hasta la espiguilla terminal.
Días a espigamiento (DE): se cuantifico en días, a partir del riego de siembra y hasta que el 50% de las plantas de cada parcela experimental tuvieron las espigas expuestas.
Días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos del riego de siembra al momento en que el 50% de espigas y pedúnculos de las plantas presentaron un color dorado.
Rendimiento (REN): en gramos por parcela y se transformaron a kg ha^{-1}.
% Roya Lineal Amarilla: porcentaje de daño tomado visualmente utilizando la escala modificada de Coob.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza y las comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se observa que, en las variables de días a floración, altura de planta, días a madurez, porcentaje de roya y rendimiento se obtuvieron diferencias altamente significativas en el factor genotipos. Las variaciones en días a floración, altura de planta y días a madurez reflejan diferencias en el desarrollo fenológico, mientras que el porcentaje de roya amarilla indica distintos niveles de respuesta frente a esta enfermedad. En cuanto al rendimiento, la alta variabilidad observada sugiere la presencia de genotipos con diferente potencial productivo. La ausencia de significancia en repeticiones y los valores que se presentaron en el coeficiente de variación indican que el experimento presentó buena precisión. Estos resultados coinciden con lo que se ha reportado en la literatura, donde se destaca la importancia de la variabilidad genética en la selección de materiales vegetales con mejor desempeño agronómico (Reynolds *et al.,* 2021; Lopes *et al.,* 2017).

Cuadro 1. Cuadrado medios del ANAVA de las variables de estudio a 36 genotipos de trigo cristalino en el Bajío.

FV	gl	Espigam/días	Altura/planta (cm)	Días/madurez	% Roya amarilla	Rendimiento kg ha^{-1}
Genotipos	35	28.4 **	58.8 **	33.2 **	821.4 **	1673844 **
Repeticiones	2	2.2	8.5	9.1	79.3	2228201
Error	70	0.5	10.9	3.7	44.3	635544
Total	107					
C.V. (%)		1.02	4.07	1.5	98	13.4
Media		69.2	81.2	124.8	6.7	5928

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación.

En las pruebas de comparaciones de medias de la evaluación del cultivo de trigo se evidenció una amplia variabilidad entre los genotipos evaluados en todas las variables analizadas. En términos de rendimiento, se identificaron materiales con valores superiores, destacando aquellos que superaron los 7,000 kg ha^{-1}, lo que indica un mayor potencial productivo bajo las condiciones del Bajío. En cuanto a las variables fenológicas, se observaron diferencias en días a floración y madurez, lo que sugiere la presencia de genotipos con distinto comportamiento en precocidad. Otro punto a denotar es la altura de planta que mostró variación entre materiales, reflejando diferencias en el desarrollo vegetativo. Respecto al porcentaje de roya amarilla, la mayoría de los genotipos presentaron bajos porcentajes de incidencia. Los resultados obtenidos permiten identificar genotipos con características agronómicas favorables, tanto en rendimiento como en sanidad, lo que coincide con lo señalado en estudios recientes sobre la importancia de la variabilidad genética para la selección de materiales adaptados (Fischer *et al.,* 2019; Crespo-Herrera *et al.,* 2018) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparaciones de medias de las variables de estudio a 36 genotipos de trigo cristalino en el Bajío.

Genotipos	Días a Floración	Altura de planta (cm)	Días a madurez	% Roya amarilla	Rendimiento kg ha^{-1}
Chapultepec	85	92	140	17	5559
Barobampo C2015	70	80	127	2	5870
Línea 3	67	90	123	0	6611
Línea 4	69	80	122	0	6984
Conasist C2015	69	77	123	2	4756
Línea 6	69	75	127	0	6114
Línea 7	69	87	123	0	6336
Rio Bravo C2018	69	73	126	7	4809
Línea 9	67	83	122	0	5235
Línea 10	68	77	126	0	6467
Línea 11	68	82	125	0	7484
Línea 12	68	82	125	0	6087
Línea 13	69	82	127	0	6420
Línea 14	67	82	125	0	5150
Quetchehueca Oro C2013	70	77	126	2	5613

Baroyeca Oro C2013	68	78	121	73	4520
Línea 17	70	80	125	0	7085
Línea 18	69	77	126	0	6204
Línea 19	67	77	124	0	7236
Línea 20	67	77	121	2	5622
Línea 21	67	78	123	0	6528
Línea 22	70	87	121	10	6409
Línea 23	68	83	124	0	6072
Línea 24	67	82	125	0	6831
SPB	67	83	123	50	4864
Línea 26	72	82	129	12	6066
Línea 27	71	80	127	0	5319
Línea 28	69	77	127	0	6074
Line 29	71	88	125	0	5354
Línea 30	71	82	128	0	6024
Anatoly C2011	67	87	121	0	6459
Ambar	68	82	123	50	4941
Línea 33	71	87	122	2	5907
Aconchi C89	69	75	123	17	4963
Línea 35	71	83	125	0	5854
Línea 36	68	83	125	0	5600
DHS	2	11	6	22	2608

DSH=diferencia significativa honesta.

La Figura 1 muestra una variación moderada en días a floración entre los genotipos, con valores aproximados de 65 a 85 días. Se identifican materiales más tardíos, como Chapultepec, y otros más precoces dentro del grupo de líneas evaluadas como la línea 3. La mayoría de materiales se concentra en un rango intermedio, lo que sugiere estabilidad en esta variable. Estas diferencias permiten identificar genotipos con distinto ciclo, para evidenciar la adaptación a ciertas condiciones en la producción (Slafer *et al.*, 2015).

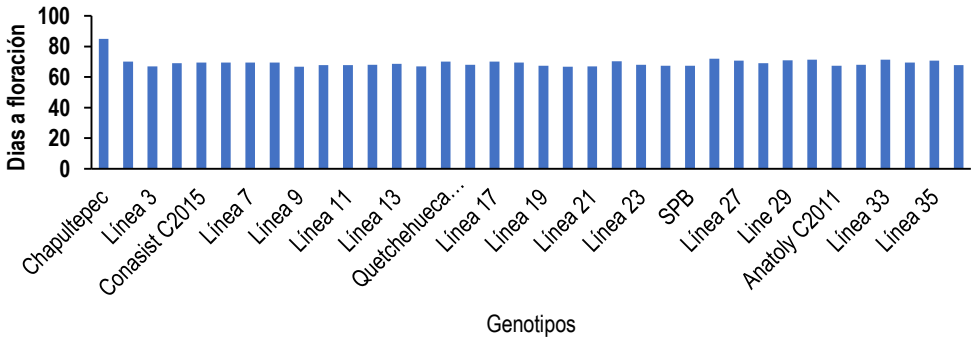


Figura 1. Días a floración de 36 genotipos de trigo cristalino evaluados en el Bajío.

La Figura 2 muestra diferencias de altura de planta entre los genotipos evaluados, con valores que oscilan aproximadamente entre 70 y 90 cm. Se identifican genotipos con mayor altura como Barobampo C2015, Línea

3, Línea 7 y Anatoly C2011(85-90 cm). Los materiales que destacan con menor altura son Conasist C2015, Río Bravo C2018, Línea 6 y Línea 8 (70-75 cm). En general, la mayoría de los genotipos se concentra en un rango intermedio, lo que indica un comportamiento relativamente uniforme. Estas diferencias están asociadas a la variabilidad genética y al potencial de crecimiento de cada material (Fischer et al., 2019).

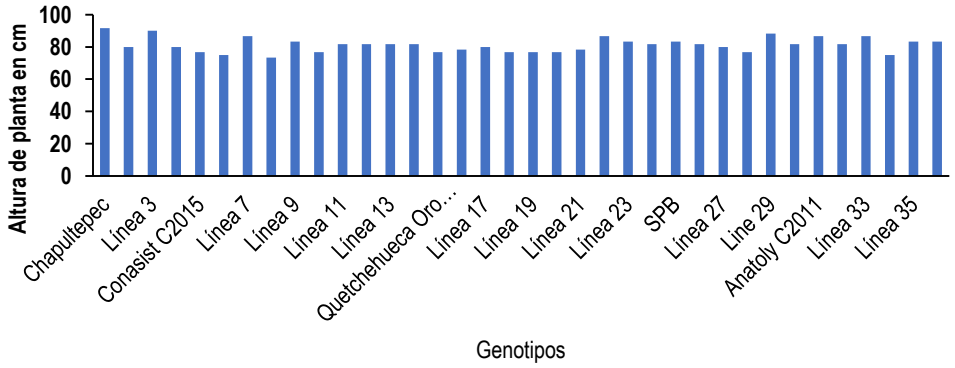


Figura 2. Altura de planta de 36 genotipos de trigo cristalino evaluados en el Bajío.

La Figura 3 presenta los resultados de días a madurez de los 36 genotipos evaluados donde se presenta una variación entre ellos, con valores que oscilan aproximadamente entre 120 y 140 días. La variedad Chapultepec obtuvo resultados como el material más tardío, alcanzando el mayor número de días a madurez. En contraste, genotipos como Barobampo C2015, Línea 3 y Línea 24 presentan los valores más bajos, indicando un comportamiento más precoz. La mayoría de los materiales presenta un rango intermedio, lo que sugiere un comportamiento uniforme.

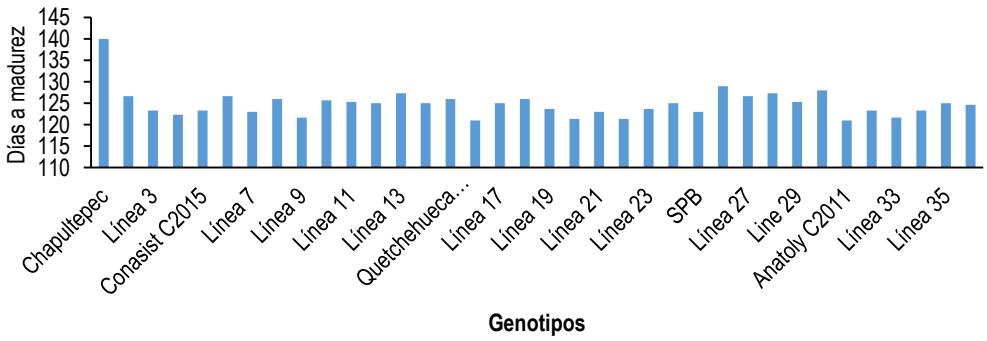


Figura 3. Días a madurez de 36 genotipos de trigo cristalino evaluados en el Bajío.

La figura 4 se presentan los resultados de porcentaje de roya evaluado en los 36 genotipos, donde los valores que oscilan en la mayoría de estos es cero. La variedad Baroyeca Oro C2013 obtuvo los mayores porcentajes de roya y en contraste, genotipos como Línea 3 y Línea 4 presentan los valores de cero. La mayoría de los

materiales evaluados presentan bajos porcentajes de manera general indicando una alta resistencia a este hongo.

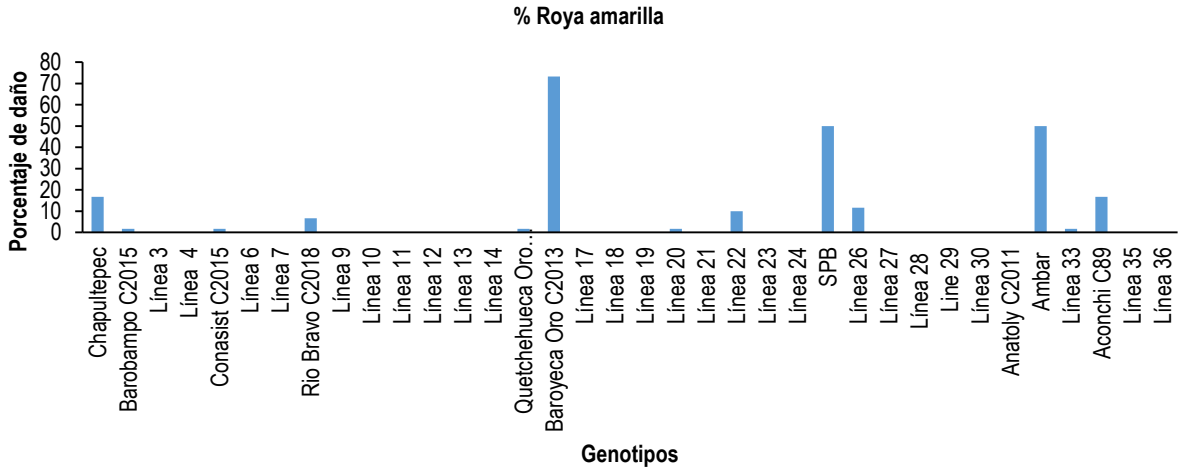


Figura 4. Porcentaje de roya de 36 genotipos de trigo cristalino evaluados en el Bajío.

La Figura 5 presenta los resultados de rendimiento donde se muestra una variación marcada entre los genotipos, con valores aproximados entre 4,500 y 7,500 kg ha^{-1}. Los materiales de mayor rendimiento son; Línea 11, Línea 18, Línea 22 y Línea 24, presentan los valores más altos dentro del grupo evaluado. En contraste, genotipos como Quechehueca Oro C2013, Río Bravo C2018 y Línea 7 presentan los rendimientos más bajos, ubicándose por debajo de los 5,500 kg ha^{-1}. En general, la mayoría de los materiales se concentra en un rango intermedio, lo que indica variabilidad productiva entre genotipos.

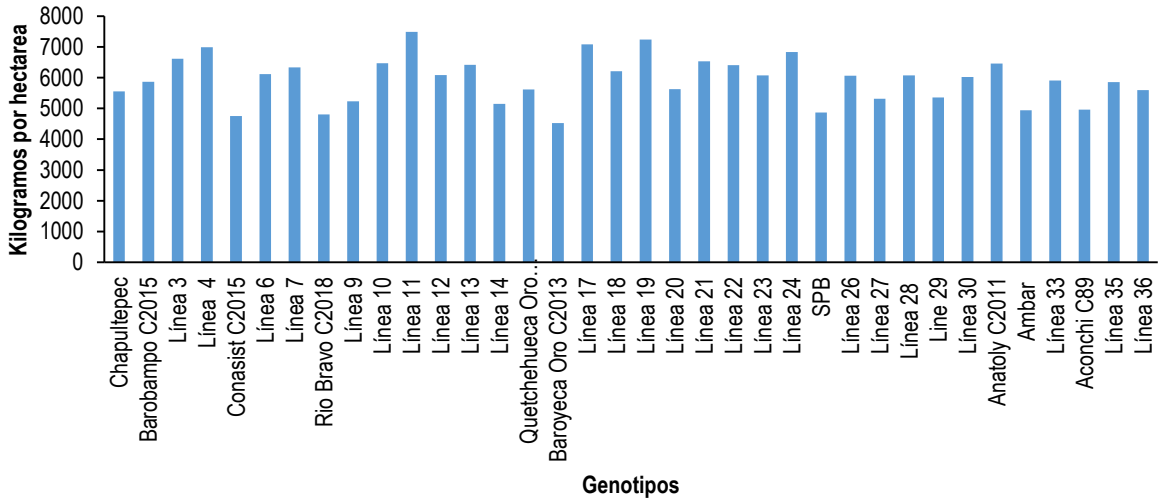


Figura 5. Rendimiento de 36 genotipos de trigo cristalino evaluados en el Bajío.

CONCLUSIONES

Se observó variabilidad entre genotipos en días a floración y madurez, altura de planta, porcentaje de roya amarilla y rendimiento. Se identificaron materiales precoces como Barobampo C2015 y Línea 3. En crecimiento, algunos genotipos presentaron mayor altura, aunque la mayoría mostró valores intermedios. En resistencia a Roya, predominó baja incidencia. En rendimiento, se distinguieron materiales superiores frente a otros de menor potencial. En conjunto, los genotipos más sobresalientes fueron Línea 11, Línea 22 y Línea 24, al combinar buen rendimiento, comportamiento agronómico adecuado y menor afectación por la enfermedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Crespo-Herrera, L. A., Crossa, J., Huerta-Espino, J., Vargas, M., y Mondal, S. (2018). Genetic yield gains in CIMMYT's international elite spring wheat yield trials. *Crop Science*, 58(5), 2199–2214.

Estrada, J., Hernández, A., López, E., y García, M. (2014). Importancia del trigo en la alimentación y producción mundial. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(3), 455–462.

FIRA. (2025). Panorama agroalimentario trigo 2025. FIRA.

Fischer, R. A., Byerlee, D., y Edmeades, G. O. (2019). Crop yields and global food security. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).

Fischer, R. A., Byerlee, D., y Edmeades, G. O. (2019). Crop yields and global food security. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). Cereal supply and demand brief. FAO. https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en

Lopes, M. S., Reynolds, M. P., Manes, Y., Singh, R. P., y Crossa, J. (2017). Genetic yield gains and associated changes in agronomic traits in wheat. *Field Crops Research*, 199, 117–127.

Peña, R. J., Amaya, A., y Rajaram, S. (2016). Durum wheat quality in conventional and modern production systems. *Cereal Foods World*, 61(1), 19–24.

Reynolds, M. P., Braun, H. J., y Trethowan, R. (2021). Challenges to international wheat improvement. *Journal of Agricultural Science*, 159(3), 145–156.

Reynolds, M. P., Braun, H. J., y Trethowan, R. (2021). Challenges to international wheat improvement. *Journal of Agricultural Science*, 159(3), 145–156.

Slafer, G. A., Savin, R., y Sadras, V. O. (2015). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 182, 42–52.

Solís Moya, E., y Villaseñor Mir, H. E. (2019). Comportamiento agronómico y adaptación de genotipos de trigo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1345–1356.

Mejoramiento genético (Biotecnología)

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

REGENERACIÓN *IN VITRO* DE EMBRIONES MADUROS S_1 DE LA RAZA DE MAÍZ CÓNICO NORTEÑO DE XICHÚ

Maricruz Martínez Lara[1]; Francisco Chablé Moreno[2]; Alfredo Josué Gámez Vázquez[3]; Francisco Cervantes Ortiz[2]; Jesús Frías Pizano[2]; Ricardo Yáñez López[2]; J. Guadalupe García Rodríguez[2]

[1]Estudiante del Doctorado en Ciencias en producción Agroalimentaria del TecNM-Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, Celaya, México. [2]Docentes del TecNM-Roque, Carretera Celaya Juventino Rosas, Km.8, Celaya, México. [3]Investigador INIFAP-CIAP/BAJIO, Carretera Celaya San Miguel de Allende Kilómetro 6.5, Celaya, Guanajuato. Autor de correspondencia: maricruzml091296@gmail.com

RESUMEN

El maíz es la base de la alimentación de los mexicanos, en este sentido las razas nativas de maíz son de interés como fuente de germoplasma. El cultivo de tejidos es una herramienta a través de la regeneración *in vitro* de embriones maduros de maíz. Esta técnica presenta una limitante por la alta incidencia de contaminación microbiana y la reducción en la capacidad regenerativa respecto a embriones inmaduros. El objetivo fue establecer un protocolo eficiente para la regeneración de plántulas de la raza Cónico Norteño mediante embriones maduros S_1. El diseño experimental se basó en cuatro colectas (AMBC, GPO1, EPO068, SUBP3), cultivadas en medios Murashige y Skoog (MS) al 50% y 100%, suplementados con 0.5 mg L^{-1} de BAP y 0.1 mg L^{-1} de AIA. Se evaluaron las variables longitud de raíz, coleóptilo y plúmula bajo un diseño completamente al azar, aplicando prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Se logró la regeneración directa de embriones maduros, el medio MS al 100% promovió mayor elongación, mientras que MS al 50% favoreció un desarrollo foliar más equilibrado. La eficiencia de regeneración fue elevada: AMBC alcanzó 100%, GPO1 94.4%, EPO068 y SUBP3 88.9%. En conclusión, se demostró que los embriones maduros constituyen una alternativa viable para la regeneración de maíz nativo, alcanzando eficiencias del 80–90% y puede ser usado en programas de mejoramiento genético, dada la disponibilidad y longevidad de la semilla madura.

Palabras clave: *maíz, cónico norteño, embriones maduros, organogénesis directa.*

ABSTRACT

Maize is the staple food of Mexicans, and in this sense, native maize varieties are of interest as a source of germplasm. Tissue culture is a tool for the in vitro regeneration of mature maize embryos. This technique is limited by the high incidence of microbial contamination and the reduced regenerative capacity compared to immature embryos. The objective was to establish an efficient protocol for the regeneration of seedlings of the Northern Conical variety using mature S_1 embryos. The experimental design was based on four collections (AMBC, GPO1, EPO068, SUBP3), cultured in 50% and 100% Murashige and Skoog (MS) media, supplemented with 0.5 mg L^{-1} of BAP and 0.1 mg L^{-1} of IAA. Root length, coleoptile length, and plumule length were evaluated

using a completely randomized design and Tukey's test (α 0.05). Direct regeneration of mature embryos was achieved. The 100% MS medium promoted greater elongation, while the 50% MS medium favored more balanced foliar development. Regeneration efficiency was high: AMBC reached 100%, GPO1 94.4%, EPO068 and SUBP3 88.9%. In conclusion, mature embryos are shown to be a viable alternative for the regeneration of native maize, achieving efficiencies of 80–90%, and can be used in genetic improvement programs, given the availability and longevity of mature seed.

Keywords: *maize, northern conical maize, mature embryos, direct organogenesis.*

INTRODUCCIÓN

El maíz forma parte de la alimentación básica de los mexicanos, el consumo per cápita es de 133.6 kg (FIRA, 2024), se estima que en el 2024 se sembraron 6 millones de hectáreas de maíz de grano blanco y se produjeron 21 millones de toneladas (SIAP, 2024). Sin embargo, a nivel mundial México ocupa el octavo lugar con el 1.9 % de la producción (FIRA, 2024).

La mayor superficie sembrada es por variedades e híbridos, mientras que los maíces nativos son conservados por pequeños productores (Monroy – Sais *et al*., 2024). Los maíces nativos presentan mejor calidad nutricional para la elaboración de alimentos, el conocimiento femenino sobre variedades y procesos de nixtamalización es clave para la conservación *in situ* (Paéz y Astier, 2026). Son una fuente de germoplasma por su amplia variabilidad, resaltado caracteres como la altura de la planta, longitud y número de hileras, así como aquellas de ciclo corto (Velasco – García *et al*., 2023).

El cultivo de tejidos vegetales se fundamenta en la plasticidad y totipotencia celular para la regeneración de ejemplares bajo condiciones de asepsia controlada. De acuerdo con Urías-Salazar et al. (2022), el empleo de explantes variados, como cotiledones, ápices radiculares o semillas, permite la regeneración de plantas libres de patógenos.

Dada a la importancia de los maíces nativos, el empleo de técnicas como el cultivo de tejidos vegetales es una alternativa en el mejoramiento genético; por un lado, puede incrementar la variación genética (Sánchez-Chiang y Jiménez, 2009) mientras por la otra parte permite aumentar los ciclos del cultivo en el mismo año y localidad (Escutia-Ponce *et al*., 2025). De acuerdo a los fines de la investigación, se ha propuesto el cultivo *in vitro* de maíz con el establecimiento de embriones inmaduros ya que este explante es totipotencial para la formación de callos embriogénicos, usados en la transformación genética, pero la capacidad regenerativa, se ha observado que disminuye su totipotencia con la maduración del embrión (Kumar *et al*., 2021).

Además, resultados en investigaciones recientes mencionan que se puede obtener genotipos élites en periodo de tiempo más corto y reducir los tiempos de cosecha, con ello se puede acelerar y aumentar los ciclos del cultivo en un mismo año en un programa de mejoramiento genético, reducir la transmisión de enfermedades por semillas (Escutia-Ponce *et al*., 2025). La principal problemática del cultivo *in vitro* de los embriones maduros es el porcentaje de contaminación de hongos y bacterias ocasionados por el contacto del explante a condiciones ambientales (Tinak *et al*., 2026). Por ello es necesario emplear un método de desinfección eficiente que permita la regeneración del explante. El objetivo de la investigación fue establecer un protocolo para la regeneración de plántulas de maíz a través del cultivo *in vitro* de embriones maduros S_1 de la raza Cónico Norteño.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el campo experimental del TecNM-Roque con ubicación en la Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, con una ubicación geográfica de 20° 34´ 54,24" latitud N y 100° 49´ 35,34" Longitud O, con una altura de 1774 msnm, con una temperatura media de 21°C, precipitación media anual de 600 a 800 mm, con un clima de cálido subhúmedo, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (García, 1973) y con predominancia de suelo de tipo vertisol (INEGI, 2017).

La obtención de los materiales fue a través de un ciclo de endogamia (S_1) de cuatro colectas de maíz de la raza Cónico Norteño (AMBC, EPO068, GPO1, SUBP3) en el ciclo otoño-invierno, 2025. La cosecha se realizó a los 50 días después de la polinización, posteriormente se realizó la extracción del embrión. La siembra del embrión se realizó en el medio de cultivo fue en Murashige and Skoog (MS, 1962) al 50% y al 100% (T1 y T2, respectivamente), suplementado con los reguladores de crecimiento reportados por Chablé *et al*. 2017 (0.5 mg L^{-1} de BAP y 0.1 mg L^{-1} AIA), se adicionó 3% de sacarosa y 0.6% de agar Bioxon®, el pH se ajustó a 5.6 ± 0.01.

La desinfección de la semilla se realizó con una solución jabonosa por 25 minutos, seguidamente de tres enjuagues hasta la eliminación de la espuma, posteriormente se colocó en etanol al 70% (v/v) por 10 minutos y en hipoclorito de sodio al 10 % (v/v) por 25 minutos, realizando tres enjuagues entre cada solución con agua destilada estéril. Finalmente, la semilla se colocó con agua estéril en la campana de flujo laminar por 24 h. El endospermo fue extraído mediante una disección longitudinal con un bisturí, sembrando el embrión con la aleurona, el escutelo y la radícula en contacto con el medio de cultivo. Después de seis días del establecimiento *in vitro* la plántula con desarrollo radicular y foliar se llevó a condiciones *ex vitro*. La aclimatación se realizó en recipientes de 1 L, el sustrato fue Peat moss humedecido a capacidad de campo, antes de la siembra se aplicó una solución de Captan® y Cupravit® al 0.5% (v/v).

Las plántulas se extrajeron de los contenedores de vidrio y con un pincel y agua estéril se eliminó el medio de cultivo de la superficie radicular, posteriormente se colocaron en Captan al 0.5% (v/v) por 3 min y se realizó un enjuague con agua estéril. Los recipientes fueron sellados con bolsas plásticas para mantener un microclima y evitar la deshidratación del tejido, el control de hongos se realizó con la misma solución antifúngica. Dado al estrés al proceso de aclimatación, fue necesario realizar el corte de la plúmula a la altura del coleóptilo, esto permitió en desarrollo foliar, durante siete días la plántula se mantuvo en condiciones controladas, antes de trasplantar a campo se colocaron en invernadero por siete días más.

Las variables evaluadas fueron longitud de raíz (LongRa), longitud de coleóptilo (LongC) y longitud de plúmula (LongPLum), el diseño experimental fue completamente al azar y se aplico una prueba de comparación de medias de Tukey (α 0.5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (ANVA) en el tratamiento 1 y 2 no mostró diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en la longitud de la plúmula (LongPlum), en el tratamiento 1 el vigor de las plantas fue raquítico, desarrollando tallos delgados (Figura 1). En la longitud radicular (LongRa) y la longitud de coleóptilo el tratamiento 1 hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), la endogamia en EPO068 y GPO1 presentaron buen desarrollo radicular (Figura 1b y 1c), en cuanto a Subp3 no se promovió la rizogénesis (Figura 1d), AMBC presentó 3 cm de longitud de coleóptilo, mientras que el resto 2 cm (Cuadro 1). En el tratamiento 2, no hubo diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en LongRa, pero la rizogénesis fue mayor que en el tratamiento 1 (Figura 2), en la longitud del coleóptilo (LongCol) el ANVA mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre las S_1, pero tuvo la misma tendencia en el tratamiento 1 (Cuadro 1). El coeficiente de variación fue superior a 20%, esto se atribuye al nivel de endogamia y la variabilidad de la raza.

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias de regeneración *in vitro* de embriones maduros S_1 de cónico norteño

	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
S_1	LongRa	LongCol	LongPlum	LongRa	LongCol	LongPlum
AMBC	1.25 ab	3.54 a	1.14 a	1.55 a	3.60 a	1.76 a
GPO1	1.64 a	2.61 b	0.81 a	1.58 a	2.80 b	1.79 a
EPO068	1.54 a	2.58 b	1.24 a	1.54 a	2.92 ab	2.14 a
SUBP3	0.90 b	2.09 b	0.64 a	1.02 a	2.54 b	1.54 a

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, Primer ciclo de endogamia (S_1), Cónico norteño de Xichú adaptado a Ambiente Celaya (AmbC), Longitud de raíz (LongRa), Longitud de coleóptilo (LongCol), Longitud de plúmula (LongPlum).

Ye *et al*. (2022) establecieron con la eficiencia de la caulogénesis en embriones maduros de maíz, a diferencia de los sistemas basados en tejidos inmaduros, la disponibilidad escalable y la longevidad de las semillas maduras facilitan su implementación en programas de mejora con el apoyo de cultivo de tejidos vegetales. Este enfoque mitiga las limitaciones asociadas con la estacionalidad de los embriones inmaduros. En nuestra investigación el uso de semillas maduras representa una ventaja, dada la variabilidad y la cantidad de semilla obtenida durante el proceso de endogamia, se logró la regeneración a través de la organogénesis directa de los embriones maduros.

Así mismo, Kumar *et al*. (2021) empleo embriones maduros, el embrión fue aislado después de tres días de imbibición, sus resultados mostraron la regeneración a través de organogénesis indirecta, menciona que la auxina 2,4-D fue eficaz mientras que el uso de 6-Bencilaminopurina (6-BAP) y ácido naftalenacético (ANA) no tuvo efecto en el número de brotes, pero logró regenerar una planta por embrión, resultados en esta investigación al emplearse BAP y ácido Indolacético (AIA), se logró la regeneración completa de la planta a partir del por embrión aislado (Figura 3), dentro de esta investigación uno de los objetivo fue establecer una metodología eficaz para la regeneración directa de embriones maduros, con la finalidad de ser empleada en el futuro en programas de mejoramiento de maíz. En este sentido, es de importancia evitar la caulogénesis, la organogénesis indirecta puede presentar variabilidad somaclonal resultando en modificaciones genéticas y epigenéticas, mientras que la organogénesis directa se obtienen plantas genéticamente más estables (Majumder *et al*., 2025), dentro de la raza cónico norteño se presenta alta heterogeneidad y se espera homogenizar los genotipos a través de los ciclos de selección.

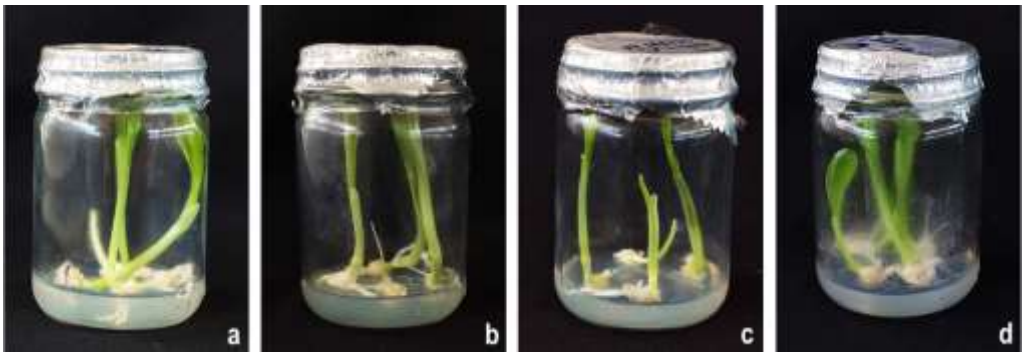


Figura 1. Tratamiento 1(MS al 100% adicionado con 0.5 mg L^{-1} de BAP y 0.1 mg L^{-1} AIA). a) AMBC, b) EPO068, c) GPO1 y d) SUBP3

El proceso de desinfección no afectó la viabilidad del embrión para AMBC se obtuvo el 100% de regeneración, en GPO1 el 94.4%, en EPO 068 el 88.9% y en la SUBP3 el 88.9%, Morshed et al. (2014) obtuvo del 25 al 75% de la regeneración de embriones maduros en cuatro variedades de maíz. Cabe mencionar que Morshed *et al*. (2014) realizó la siembra de la semilla sin retirar el endospermo, mientras que en esta investigación se

emplearon embriones aislados, esta metodología resulta más eficiente para la regeneración de plantas de maíz a través de embriones maduros. Al usar concentraciones más altas de MS (100%) las plántulas presentado mayor longitud, esto ocasionó que algunas plántulas comenzaran a necrosar, en MS (50%) las plántulas fueron de porte más bajo, pero con buen desarrollo foliar.

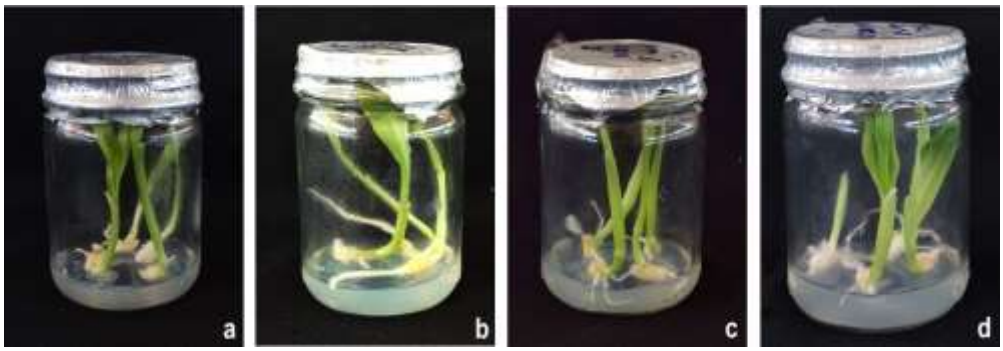


Figura 1. Tratamiento 2 (MS al 50% adicionado con 0.5 mg L^{-1} de BAP y 0.1 mg L^{-1} AIA). a) AMBC, b) EPO068, c) GPO1 y d) SUBP3

Una de las principales limitantes del uso de embriones maduros en el cultivo de tejidos es el porcentaje de contaminación, como consecuencia de la exposición a agentes contaminantes (principalmente a hongos y bacterias), dentro de las selecciones de S_1 evaluadas se observó alta contaminación en AMBC (75%), en el resto fue mínima (5%), investigaciones de Demisse *et al*. (2008) mencionan que el método de desinfección de semilla no fue el adecuado, se logró obtener el 95% de germinación, pero la contaminación fue alta 81.5%, al modificar el protocolo redujo al 22% de tal modo que logro regenerar dos líneas endogámicas de maíz por vía organogénesis indirecta.

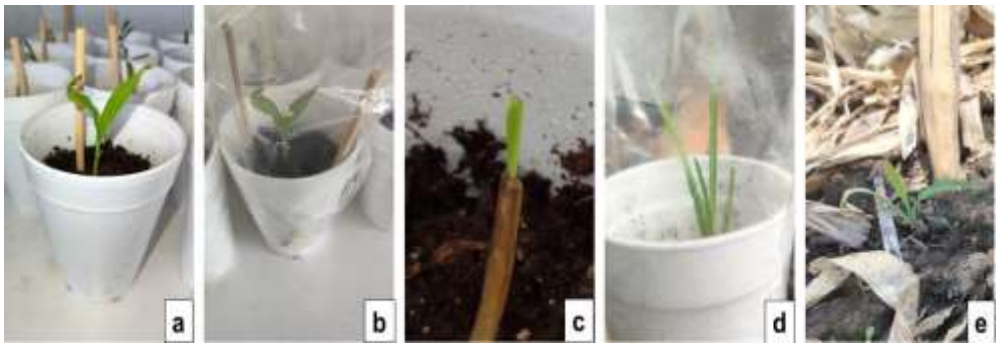


Figura 3. Aclimatación de S_1 de los genotipos seleccionados de maíz cónico norteño. a) establecimiento de plántula regenerada *in vitro* en sustrato, b) proceso de aclimatación con bolsas de polipropileno, c) corte de plúmula en plántulas con necrosis en hojas, d) hojas nuevas después del corte de plúmula y e) establecimiento en campo (plántula adaptada a condiciones *ex vitro* exitosa).

Kang *et al*. (2022) realizó un protocolo de regeneración y transformación de embriones inmaduros de maíz a través de organogénesis indirecta, después de 165 días fue trasplantado en suelo. Bedada *et al*. (2022) obtuvo el 90% de sobrevivencia en la etapa de endurecimiento en líneas de maíz regeneradas a través de embriones

maduros. Chablé *et al*. (2017), menciona el 76% de las plántulas regeneradas *in vitro* de 19 poblaciones de maíz fueron transferidas a suelo y adaptadas a campo. En nuestra investigación el proceso de aclimatación desde *in vitro* a campo transcurrió 59 días, se sugieren hacer modificaciones en el proceso de aclimatación para esta raza, aunque el porcentaje de sobrevivencia disminuyó considerablemente.

CONCLUSIONES

Se logró que la regeneración de embriones maduros, un área poco explorada frente a los estadios inmaduros. Los resultados mostraron que el protocolo de desinfección no afecto la viabilidad del embrión, permitiendo la organogénesis directa con una eficiencia del 80-90%. Para maximizar el éxito experimental, se sugiere priorizar la siembra aséptica en el tratamiento 2 y la implementación de subcultivos en el tratamiento uno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bedada, L. T., Seth, S., Runo, S. M., Tefera, W., & Jesse, M. (2012). Regenerability of elite tropical maize (Zea mays L.) inbred lines using immature zygotic embryo explants. *African Journal of Biotechnology*, *11*(3), 598-605. DOI: 10.5897/AJB11.812

Chablé-Moreno, F., Huerta-Santoyo, D., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., Aguirre-Mancilla, C. L., Estrada-Luna, A. A. y Covarrubias-Prieto, J. (2017). Cultivo *in vitro* de embriones inmaduros de cruzas interpoblacionales de maíz S_2 con empleo de BAP y AIA. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México 5*(1), 1-11.

Escutia-Ponce, J.M.; García-Rodríguez, J.G., Mendoza-Elos, M.; Montes-Hernández, S.; Ramírez-Pimentel, J.G. Rivera-Arredondo, M.; Chablé-Moreno, F.; Gámez-Vázquez, A.J. (2025). Morfología y rendimiento de plantas de maíz obtenidas mediante cultivo de embriones inmaduros y por semillas. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 48 (3): 233-240, DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2025.3.233

Kumar, K., Abhishek, A., Jha, A. K., Kumar, B., & Rakshit, S. 2021. In vitro regeneration in maize (Zea mays L.). *Maize J*, 10 (1), 6-12.

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2024. *Panorama Agroalimentario: Maíz 2024*. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=122742

García, E . (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (adaptación a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. México. 264 p

INEGI. Marco Geoestadístico Municipal (2017). versión 4.3. Celaya, Guanajuato.

Majumder, S., Igamberdiev, A. U., and Debnath, S. C. (2025). Somaclonal Variation and Clonal Fidelity in Commercial Micropropagatio: Challenges and Perpestives. *Agronomy, 15*(6), 1489. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy1506148

Moroy-Sais., A. S., Tobin, D., Bellon, M. R., Astier, M., Cibrián-Jaramillo, A., Gálvez-Reyes, N., Mastretta-Yanes, A., Ruiz-Arocho, J., Wegier, A and Chen, Y. H. (2024). Smallholder farmers' diverse values in maize landrace conservation: A case study from Chiapas Mexico. *Journal of Rural Studies*. 110,103347. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103347

Morshed, S., Baker, A., Siddique; Islam S. M.S. (2014). Callus Induction; Immature and Mature Embryo; In Vitro Regeneration; Somatic Embryogenesis. *International Journal of Agriculture Innovations and Research. 3*(3), 895-904.

Murashige T. and Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiol Plant 15:473–497

Páez, M. V., & Astier, M. (2026). Reframing native maize conservation, the energy-gender nexus, and food sovereignty in rural Mexico. *Elem Sci Anth*, *14*(1), 00023.

Sánchez-Chiang, N.; Jiménez, V.M. (2009) Técnicas moleculares para la detección de variantes somaclonales. Agronomía mesoamericana 20 (1): 135-151. I.SSN: 1021-7444. DOI:

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pes quera). 2024. Anuario estadístico de la producción agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA, México, D.F. Disponible en https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Tinak Ekom, D.C., Lombeko Obe Tomo, V., Mongoue Fanche, A. *et al.* Genotype-specific disinfection protocols enable reliable in vitro culture from mature field-harvested maize seeds. *Discov. Plants* **3**, 90 (2026). DOI: https://doi.org/10.1007/s44372-026-00566-4

Velasco-García, Á. M., García-Zavala, J. J., Sahagún-Castellanos, J., Lobato-Ortiz, R., Sánchez-Abarca, C., y Marín-Montes, I. M. (2020). Análisis de la variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en valles altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*, *43*(4A), 517-524. DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4-a.517

Urías-Salazar, A. A., Ayil-Gutiérrez, B. A., Delgado-Martínez, R., Silva-Espinosa, J. H. T., Segura-Martínez, M. T. J. y Poot-Poot, W. A. (2022). Cultivo de tejidos vegetales y mutagénesis inducida: Una estrategia para el desarrollo de plantas tolerantes a salinidad. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, *30*(85) DOI: https://doi.org/10.33064/iycuaa2022853315

Kang, M., Lee, K., Finley, T., Chappell, H., Veena, V., and Wang, K. (2022). An Improved *Agrobacterium*-Mediated Transformation and Genome-Editing Method for Maize Inbred B104 Using a Ternary Vector System and Immature Embryos. *Frontiers in plant science*, *13*, 860971. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.860971

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

SELECCIÓN DE MICROORGANISMOS TOLERANTES A LA RICINA PARA LA HIDRÓLISIS DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE HIGUERILLA

J. Gabriel Ramírez-Pimentel*, Carlos A. Flores-Gómez; Juan Carlos Raya-Pérez; Karla W. Luna Salas; Jean B. Ramírez-Guerrero; Brayant Adair Chablé-Salinas; Jorge Covarrubias-Prieto; César L. Aguirre Mancilla

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. Roque. Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110. Autor de correspondencia. Autor de correspondencia: *juan.rp1@roque.tecnm.mx

RESUMEN

Ricinus communis L. ha cobrado importancia como materia prima para la producción de biodiesel; sin embargo, el residuo del cultivo ha sido de difícil de integrar en procesos de aprovechamiento, debido a la presencia de toxinas y otros metabolitos que impiden incorporarse en forrajes, suplementos, e incluso, para tratamiento microbiológico. En otros cultivos, se ha implementado la bioconversión a etanol del residuo de cosecha, pero no presentan esta dificultad. El objetivo del presente trabajo de investigación fue obtener microorganismos aptos para el pretratamiento de residuos de higuerilla, tolerantes a la presencia de las toxinas y con capacidad de desdoblar los polímeros en azúcares fermentables, para la producción de etanol. Se implementaron tres sistemas de digestión sólida con residuos vegetales de higuerilla, se realizó siembra del lixiviado en dos medios formulados para la selección de microorganismos resistentes a los componentes del residuo vegetal. Se seleccionaron 17 cepas bacterianas y 10 fúngicas, a las que se evaluó la capacidad de hidrólisis de celulosa, finalizando con una cepa de bacteria y una de hongo, como candidatos para el pretratamiento propuesto.

Palabras clave: *Residuo lignocelulósico, Ricinus communis, Ricina, Actividad celulolítica.*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de especies energéticas resistentes a condiciones limitantes, tales como sequía, salinidad, suelos erosionados, contaminados y otras condiciones, puede contribuir a la regeneración y aprovechamiento de tierras no aptas para la producción de alimentos. Entre estos destacan los cultivos que se utilizan para la producción de biocombustibles, como el biodiesel y el bioetanol. La higuerilla (*Ricinus communis* L.) es una planta oleaginosa que se ha cultivado para obtener el aceite de sus semillas; sin embargo, se ha observado que contiene potentes toxinas que han impedido su uso alimentario y forrajero; incluso se han reportado efectos sobre microorganismos para tratamiento biológico (Franke et al., 2019; Angulo Escalante, *et al.*, 2026).

En el grupo de investigación, se ha demostrado la posible degradación al incorporarse en sistemas de composteo, lo que indica que naturalmente se encuentran microorganismos tolerantes, que incluso pueden

consumir dicho residuo. Para residuos agrícolas ordinarios, numerosos reportes mencionan el efecto de la temperatura para la optimización de la descomposición de residuos lignocelulósicos en oligosacáridos y otros azucares más simples; aunado a esto, se reportó recientemente la incorporación de cierto tipo de sustancias que pueden acelerar los procesos enzimáticos e incrementan la liberación de azucares reductores hasta un 75%. El producto de este tipo de fermentación sólida puede lixiviarse y someterse a procesos de fermentación alcohólica con la consecuente obtención de bioetanol y un residuo estabilizado con usos diversos, como bioabono, biochar, reestructurantes de suelos y otros.

Los biocombustibles son fuentes de energía renovales, su huella de carbono es casi nula ya que no inyectan a la atmosfera más carbono que se encontraba aislado en depósitos subterráneos (Jalilian et al., 2020; Somerville, 2007). El presente trabajo de investigación surge como propuesta para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos resultantes de la producción de biodiesel a partir de higuerilla (*Ricinus communis* L.) al usarse como materia prima en la producción de otro biocombustible de importancia, el bioetanol. La producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos consta de 4 etapas; el pretratamiento, hidrólisis o sacarificación, fermentación y destilación (Padella *et al*., 2019).

Existen reportes de que la planta *R. communis* inhibe el desarrollo de microorganismos debido a que contiene una proteína tóxica denominada Ricina (Al-Mamun et al., 2016; de Oliveira et al., 2010), Sin embargo, es posible efectuar un pretratamiento biológico si los microorganismos empleados están adaptados a este sustrato, presentan actividad hidrolítica de celulosa y baja utilización de los azúcares liberados (Canam et al., 2013). La celulosa es el biopolímero más abundante de la naturaleza y es también el mayor constituyente de la pared celular vegetal llegando a componer entre el 40 y 50 % en peso de la pared celular, es una cadena larga no ramificada compuesta por D-glucosa con un peso molecular entre 50,000 y 1’000,000 de Daltons (Shuler & Kargi, 2002; Weerasinghe et al., 2021). La hemicelulosa no es un compuesto bien definido, sino una clase de polímeros formados de pentosas y hexosas presentes en la pared celular vegetal. Su principal función es fortalecer la pared celular al atar las microfibrillas de celulosa (Scheller & Ulvskov, 2010; Burlacu et al., 2016). La hemicelulosa conforma entre el 25 – 35 % en peso de la pared celular. El tipo más abundante de hemicelulosa es el xilano (Bertella & Luterbacher, 2020).

La lignina es la fuente natural más grande de moléculas aromáticas y constituye entre el 15% y 20% en peso de la pared celular vegetal. Debido a su variabilidad y complejidad aunado a la dificultad de aislarla de forma tal que mantenga su estructura original la elucidación completa de su estructura y propiedades sigue siendo un desafío (Bertella & Luterbacher, 2020). El bioetanol es el biocombustible líquido más producido en el mundo mediante el proceso de fermentación de biomasa (Weerasinghe et al., 2021) y cada vez cobra más relevancia

ya que se está presentando como un gran candidato para la sustitución de los combustibles fósiles en los medios de transporte (Padella et al., 2019). Una de las condiciones clave para obtener una alta eficiencia en la bioconversión de la biomasa lignocelulósica es que se lleve a cabo un buen pretratamiento, el cual tiene la finalidad de incrementar la eficacia de la hidrólisis enzimática posterior al reducir la cantidad de celulosa cristalina, e hidrolizar parcialmente la hemicelulosa (Mikulski et al., 2019).

El pretratamiento biológico consiste en someter al sustrato lignocelulósico a microorganismos o sus enzimas para facilitar su conversión en etanol. Es prometedor debido a que no presenta formación de inhibidores durante el proceso, es amigable con el medio ambiente y es económico (Zhang et al., 2021; Heer & Sauer, 2008; Legodi et al., 2019). Las Bacterias presentan ciertas ventajas que las hacen buenas candidatas para efectuar el pretratamiento de los residuos lignocelulósicos tales como el hecho de tener un rápido crecimiento, poder expresar complejos multienzimáticos y algunas de ellas pueden resistir ambientes extremos (Liang et al., 2014). Entre las bacterias con actividad celulolítica se han reportado especies de *Triconympha*, *Clostridium*, *Actinomycetes*, *Bacteroides succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococus albus*, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Acinetobacter anitratus*, *Branhamella sp*. (Gupta et al., 2012), *Pseudomonas poae* (Abada et al., 2019), *Bacillus, Cryseobacterium* (Zhang et al., 2021), *Arthrobacter sp*., *Paenibacillus terrae* (Liang et al., 2014), *Nocardiopsis sp*. (Weerasinghe et al., 2021). Por otro lado, la estructura de las celulasas de los hongos suelen ser más simples comparados con el sistema propio de las bacterias y por lo general presentan un mayor rendimiento (Kumari et al., 2021). Entre los hongos que poseen actividad celulítica se encuentran especies de *Chaetomium, Fusarium Myrothecium, Trichoderma, Penicillium, Aspergillus* (Gupta et al., 2012), *Rhodotorula glutinis* (Herculano et al., 2011), *Pleurotus sp*. y *Talaromyces* (Zhang et al., 2021).

Se sabe que ambos polímeros componentes de la pared celular, celulosas y hemicelulosas pueden convertirse en azúcares fermentables, mientras que la lignina debe eliminarse, puesto que es capaz de retener las enzimas por adsorsión, generar enlaces por puente de hidrógeno, uniones hidrofóbicas e interacciones electrostáticas, que reducen fuertemente la eficiencia de las enzimas (Yarbrough, Mittal, Mansfield, et al., 2015).

Históricamente, se han desarrollado distintos sistemas de composteo, digestión aeróbica, digestión anaeróbica, bokashi, biochar y otros más. Estos sistemas buscan estabilizar la materia orgánica para impedir la posterior proliferación de microorganismos y desarrollo de olores desagradables; sin embargo, si estos sistemas de descomposición son interrumpidos a diferentes tiempos, es posible obtener una gran cantidad de compuestos fermentables. Recientemente se han utilizado líquidos iónicos (ILs) para el pretratamiento de biomasa lignocelulósica debido a su excelente capacidad para destruir la estructura cristalina de la celulosa o para remover la lignina. Más recientemente se desarrollaron solventes eutécticos profundos (DESs), con capacidad

para remover selectivamente la lignina y preservar la hemicelulosa (Azzouz & Hayyan, 2023; Durand, Lecomte, & Villeneuve, 2013).

La incorporación de Poli-Etilen-Glicol (PEG) en presencia de Cloruro de Colina: 'Acido Oxálico ha mejorado notablemente el fraccionameinto de la hemicelulosa y estabilizado la materia orgánica. En este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue obtener microorganismos aptos para el pretratamiento de residuos de higuerilla, tolerantes a la presencia de las toxinas y con capacidad de desdoblar los polímeros en azúcares fermentables, para la producción de etanol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Biología Molecular Agroalimentaria y en el campo experimental del TecNM-I. T. de Roque.

Establecimiento de la digestión en fase sólida: Se establecieron Pilas de residuo de planta de *R. communis* de 10 kg de peso fresco con inóculos preestablecidos generados con residuos vegetales agrícolas, incluída fronda de higuerilla, estiércol bovino, agregando los tratamientos con cloruro de colina y con inóculos enriquecidos provenientes de fermentación sólida de *R. communis*. Se realizaron muestreos semanales para determinar el grado de descomposición, presencia de microorganismos y liberación de azúcares reductores.

Aislamiento de Microorganismos. Las compostas que contenían residuos de *R.communis* fueron muestreadas suspendiendo el lixiviado en agua estéril y realozando diluciones de 10^{-1} a 10^{-6}, para inoculaer en medio de cultivo. Se realizó formularon dos medios *ad hoc* para diferenciar aquellos microorganismos tolerantes a los compuestos y toxinas presentes en los residuos de higuerilla, medio agar de papa-dextrosa (PDA) y medio de cultivo higuerilla-dextrosa (HDA).

La cuantificación de la concentración de azúcares reductores, para cada tratamiento, se realizó utilizando ácido 3,5-dinitrosalicilico (DNS), tanto en las diluciones para la curva de calibración como para las muestras problema, conforme a Jain et al., (2020). La medición de absorbancia se realizó mediante en espectrofotómetro (nanodrop^{MR} 2000c) a 540 nm. Bajo condiciones asépticas, se inocularon en cajas Petri con medio PDA y con medio HDA. En el centro de cada una de las cajas se colocó una gota de cada disolución y con ayuda perlas de vidrio estériles se esparció por toda la superficie del medio. Posteriormente incubó a temperatura ambiente (22-28C) en oscuridad. Una vez crecidos los microorganismos se procedió con su aislamiento, mediante la técnica de estría cruzada y en el caso de los hongos, por resiembra de puntas de hifa. Se contrastó el desarrollo

de ufc entre los dos tipos de medio para evaluar la proporción de microorganismos tolerantes en relación a los susceptibles.

Selección de microorganismos capaces de degradar celulosa. Para la detección y selección de los microorganismos capaces de hidrolizar la celulosa, los microorganismos previamente aislados son cultivados en medio CMC con rojo Congo de composición: Carboximetilcelulosa (CMC) 2 g/L, KH2PO4 0.5 g/L, MgSO4 0.25 g/L, agar 15g/L, gelatina B 2 g/L, rojo Congo 0.2 g/L y agua destilada 1L a un pH entre 6.8 y 7.2 (Gupta et al., 2012; McDonald et al., 2012).

Ensayo enzimatico actividad hidrolítica de los microorganismos seleccionados. Para determinar la actividad enzimática de los microorganismos seleccionados se cultivaron en medio CMC con rojo Congo y se calculó el índice celulolítico (C.I.) (Gupta et al., 2012; Ghose,1987). Para la determinación de la concentración de azúcares reductores se desarrolló un programa escrito en Julia Programming Language v.1.4.5, a fin de obtener un modelo matemático. Se construyó una curva de calibración empleando soluciones de dextrosa en concentración de 0, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 1000 µg/mL y se sometieron a análisis colorimétrico por triplicado con el reactivo DNS, al igual que las muestras problema: CN1, CN2, PH1 y PH2. Se realizó el ajuste los datos de calibración al modelo lineal obtenido, así como la ubicación de las muestras problema en el mismo, los datos graficados son el promedio de las 3 réplicas y las barras de error muestran la desviación estándar. Los parámetros del modelo se encontraron mediante regresión lineal obteniéndose una ecuación que proporciona la concentración de azúcares reducidos en función de la absorbancia medida:

$C(A)=745.235x+3.81918$ [=] µg/ml

El modelo presentó una bondad de ajuste $R^2 = 0.9845916742145162$.

Los experimentos se realizaron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, tanto para la cuantificación de microorganismos tolerantes a la ricina como para la actividad celulolítica de los aislados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron los porcentajes de humedad correspondientes a cada una de las 4 muestras de pretratamiento biológico y se presentan en el Cuadro 1. Se observa que las muestras correspondientes a la composta de novo (CN1 y CN2) presentaron un mayor porcentaje de humedad comparadas con las muestras que pasaron por el pretratamiento biológico en las compostas preestablecida (PH1 y PH2).

Cuadro 1. Porcentaje de humedad de residuos lignocelulósicos post pretratamientos biológicos.

Muestra	Humedad %

CN1	77.017355
CN2	72.678583
PH1	70.6483841
PH2	60.2964197

Se logró observar que se obtuvo una mayor cantidad de azúcares reductores en el pretratamiento biológico brindado en la composta *de novo* establecimiento frente al de la composta preestablecida (Cuadro 2). Esto indica que el pretratamiento biólogico brindado en la composta *de novo* establecimiento es mejor ya que produce mayores cantidades de azucares reductores que posteriormente pueden ser aprovechados en la etapa fermentativa y obtener una mejor producción de biotanol.

Cuadro 2. Determinación de la concentración de azúcares reductores en las muestras de *R. communis* sometidas a la fermentación en estado sólido.

Muestra	Absorbancia* a 540 nm	Desviación estándar	Concentración de azúcares reductores [µg/mL]
CN2	0.973666667	0.013892444	729.4293145
CN1	0.567000000	0.006082763	426.3672244
PH1	0.278666667	0.000577350	211.4912343
PH2	0.018000000	0.010016653	17.23340277

*Absorbancia promedio con n = 3.

Aislamiento y selección de microorganismos capaces de degradar celulosa y tolerantes a las toxinas de *R.communis*. Los microorganismos presentes en las compostas fueron abundantes, aproximadamente 2.4 x 10^8 ufc por cada gramo de composta, cultivables en medio PDA; sin embargo, la población tolerante a las toxinas y compuestos presentes en el residuo de higuerilla representó el 9.08%±3.33, lo que confirma la actividad antimicrobiana presente en los residuos y la factibilidad de aislamiento de cepas resistentes (Figura 1).

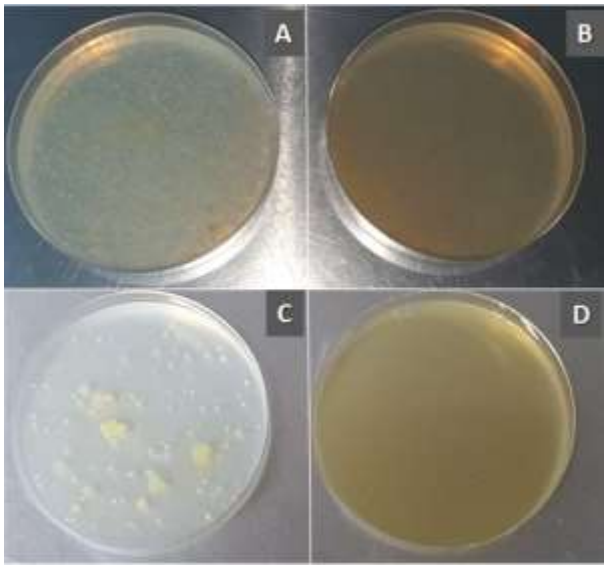


Figura 1. Selección de microorganismos resistentes a ricina y metabolitos de *R. communis*. A, Dilución 10 $^{-3}$ sobe medio PDA. B, dilución 10^{-3} sobre medio HDA. C, Dilución 10 $^{-6}$ sobe medio PDA. D, dilución 10^{-6} sobre medio HDA. Se observan colonias con diferente morfología, destacándose la abundancia en el medio PDA.

En un primer ensayo, se aislaron 17 cepas bacterianas, de las cuales sólo una presentó actividad celulolítica y fue denominada como B17; también se aislaron 10 hongos de los cuales solo 2 presentaron actividad hidrolítica para celulosa, fue seleccionado el que presentó el mayor índice celulolítico y fue denominado como H1. La bacteria B17 formó colonias brillantes circulares de bordes ligeramente irregulares, primero de color blancas amarillentas y posteriormente presentó pigmentación color magenta comenzando desde el centro hacia los bordes y bajo luz UV presentó una leve fluorescencia. En la Figura 10C puede observarse el halo de decoloración en el medio CMC- rojo Congo que es indicador de la actividad celulolítica.

La colonia del hongo H1 a nivel macroscópico es grande, redonda, de color blanco, aspecto filamentoso, en el centro presentó pigmentación amarillenta, el micelio es más denso en el centro, la colonia presenta un borde espiculado, de elevación convexa umbilicada. también se observa el halo de decoloración en el medio CMC-rojo Congo; indicador de la actividad celulolítica del hongo H1.

La Bacteria B17 fue sometida a tinción de gram y fue analizada mediante microscopía de Contraste Diferencial interferencial (DIC, Nomarski), revelánode como bacilo corto gram negativo (Figura 2 A).
El hongo H1 se trata de un hongo filamentoso septado, presenta macroconidias en forma de canoas con 5 septos. El hongo H1 presenta clamidosporas campaniformes de pedicelo corto, poco numerosas que surgen del borde lateral de las hifas y abundancia de mesoconidias, las mesoconidias son lisas de forma elíptica a forma de huso, de entre 2 a 5 septos, sin pico terminal, características compatibles con el género *Fusarium* (Figura 2B y C).

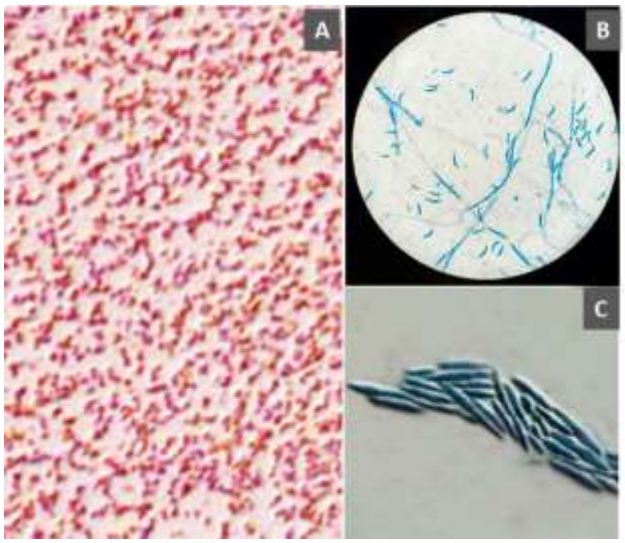


Figura 2. Microfotografías de los microorganismos aislados. A, Bacteria B17. Bacilo corto gram negativo. B, Micelio y macroconidias del hongo H1. C, Detalle de conidias del hongo H1, bajo óptica DIC.

De acuerdo con este modelo, el índice celulolítico relativamente estable y elevado se obtiene a partir de las 50 h lo que permitirá fijar el tiempo de residencia del sustrato en el proceso de pretratamiento cuando se emplee como inóculo la bacteria B17.

CONCLUSIONES

Fue posible aislar microorganismos capaces de crecer en los residuos lignocelulósicos de higuerilla con resistencia a sus toxinas y metabolitos

Los microorganismos aislados son capaces de desarrollarse en el sustrato lignocelulósico de higuerilla y presentan la capacidad de hidrolizarlo presentándose como buenos candidatos para efectuar el pretratamiento biológico de dicho sustrato. Pueden crecerse de manera rápida bajo condiciones de laboratorio, obteniendo altas concentraciones para utilizarse como inóculo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por el apoyo recibido en el proyecto clave 22814.25-P

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Mamun, M. A., Akter, Z., Uddin, M. J., Ferdaus, K. M. K. B., Hoque, K. M. F., Ferdousi, Z., & Reza, M. A. (2016). Characterization and evaluation of antibacterial and antiproliferative activities of crude protein extracts isolated from the seed of Ricinus communis in Bangladesh. BMC Complementary and Alternative Medicine, 16(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/s12906-016-1185-y

Angulo-Escalante, Miguel Angel; Cruz-Lachica, Isabel; Salazar-Villa, Edith; Rojo-Báez, Indira; Soto-Landeros, Federico; Márquez Zequera Isidro; Báez-Parra Karla Marina (2026). Actividad antimicrobiana y cuantificación de ricinina en *Ricinus communis* frente a bacterias fitopatógenas. Revista Mexicana de Fitopatología. 44(1):1-9.

Bertella, S., & Luterbacher, J. S. (2020). Lignin Functionalization for the Production of Novel Materials. Trends in Chemistry, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.trechm.2020.03.001

Burlacu, A., Petrw_a, C., & Israel-Roming, F. (2016). Microbial xylanase : A Review.

Canam, T., Town, J., Iroba, K., Tabil, L., & Dumonceaux, T. (2013). Pretreatment of Lignocellulosic Biomass Using Microorganisms: Approaches, Advantages, and Limitations. In S. S. Silva, A.K.C., Da (Ed.), Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass—Techniques, Applications and Commercialization (1st ed., pp. 181–206). IntechOpen. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/55088

de Oliveira, A. S., Oliveira, M. R. C., Campos, J. M. S., Lana, R. P., Machado, O. L. T., Retamal, C. A., Detmann, E., & Filho, S. C. V. (2010). In vitro ruminal degradation of ricin and its effect on microbial growth. Animal Feed Science and Technology, 157(1–2), 41–54. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.01.006

Franke, H., Scholl, R., & Aigner, A. (2019). Ricin and Ricinus communis in pharmacology and toxicology-from ancient use and "Papyrus Ebers" to modern perspectives and "poisonous plant of the year 2018." Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 392(10), 1181–1208. https://doi.org/10.1007/s00210-019-01691-6

Ghose, T. K. (1987). Measurement of cellulase activities. Pure and Applied Chemistry, 59(2), 257–268. https://doi.org/doi:10.1351/pac198759020257

Gupta, P., Samant, K., & Sahu, A. (2012). Isolation of Cellulose-Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. 2012. https://doi.org/10.1155/2012/578925

Heer, D., & Sauer, U. (2008). Identification of furfural as a key toxin in lignocellulosic hydrolysates and evolution of a tolerant yeast strain. Microbial Biotechnology, 1(6), 497–506. https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2008.00050.x

Herculano, P. N., Lima, D. M. M., Fernandes, M. J., Neves, R. P., de Souza-Motta, C. M., & Porto, A. L. F. (2011). Isolation of Cellulolytic Fungi from Waste of Castor (Ricinus communis L.). Current Microbiology, 62, 1416–1422. https://doi.org/10.1007/s00284-011-9879-3

Jain, A., Jain, R., & Jain, S. (2020). Quantitative Analysis of Reducing Sugars by 3, 5-Dinitrosalicylic Acid (DNSA Method). In Basic Techniques in Biochemistry, Microbiology and Molecular Biology. (1st ed., pp. 181–183). Springer Protocols Handbooks. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9861-6_43

Jalilian, N., Najafpour, G. D., & Khajouei, M. (2020). Macro and Micro Algae in Pollution Control and Biofuel Production – A Review. ChemBioEng Reviews, 7(1), 18–33. https://doi.org/10.1002/cben.201900014

Kumari, A. V. A. G., Sunilson, J. A. J., Prema, M., & Vinayagamurthi, M. R. (2021). Isolation and Screening of Cellulolytic Fungi from Mangrove Ecosystem. 1–8. https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0058314

Legodi, L. M., La Grange, D., van Rensburg, E. L. J., & Ncube, I. (2019). Isolation of Cellulose Degrading Fungi from Decaying Banana Pseudostem and Strelitzia alba. Enzyme Research, 2019, 1390890. https://doi.org/10.1155/2019/1390890

McDonald, J. E., Rooks, D. J., & McCarthy, A. J. (2012). Methods for the isolation of cellulose-degrading microorganisms. In Methods in Enzymology (1st ed., Vol. 510). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415931-0.00019-7

Mikulski, D., Kłosowski, G., Menka, A., & Koim-Puchowska, B. (2019). Microwave-assisted pretreatment of maize distillery stillage with the use of dilute sulfuric acid in the production of cellulosic ethanol. Bioresource Technology, 278(November 2018), 318–328. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.068

Padella, M., O'Connell, A., & Prussi, M. (2019). What is still limiting the deployment of cellulosic ethanol? Analysis of the current status of the sector. Applied Sciences (Switzerland), 9(21). https://doi.org/10.3390/app9214523

Scheller, H. V., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. Annual Review of Plant Biology, 61(1), 263–289. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315

Shuler, M. L., & Kargi, F. (2002). Bioprocess Engineering: Basic Concepts (2nd ed.). Prentice Hall.

Somerville, C. (2007). Biofuels. Current Biology, 17(4), 115–119. https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.01.010

Weerasinghe, W. M. L. I., Madusanka, D. A. T., & Manage, P. M. (2021). Isolation and identification of cellulase producing and sugar fermenting bacteria for second-generation bioethanol production. International Journal of Renewable Energy Development, 10(4), 699–711. https://doi.org/10.14710/ijred.2021.35527

Zhang, Z., Shah, A. M., Mohamed, H., Tsiklauri, N., & Song, Y. (2021). Isolation and Screening of Microorganisms for the Effective Pretreatment of Lignocellulosic Agricultural Wastes. BioMed Research International, 2021, 5514745. https://doi.org/10.1155/2021/5514745

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

USO DE *Trichoderma yunnanense* COMO AGENTE BIOCONTROLADOR DE *Fusarium* spp. EL CULTIVO DE LECHUGA

Tania Gabriela Martinez-Martínez[1]; Anabel Flores-Lee[1]; Yareli Alejandra Velasco León[1]; José Gómez -Espinoza[2]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Superior de Abasolo. Bvld Cuitzeo de los Naranjos #401, Col. Cuitzeo de los Naranjos. 36976, Abasolo, Guanajuato. [2]Tecnológico Nacional de México-Roque, Km 8 carretera J. Rosa-Celaya, CP 38110 Celaya, Gto. Autor de correspondencia: gomez2205jge@gmail.com

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo la evaluación del porcentaje de inhibición de cepas de *Trichoderma yunnanense* que abarque sobre los hongos fitopatógenos que afecten el cultivo de lechuga, esto mediante la confrontación dual en condiciones de laboratorio. Por lo cual, se llevó a cabo el establecimiento de un diseño experimental completamente al azar, este constó de 4 tratamientos de distintas cepas de *T. yunnanense* y una cepa patógena (*Fusarium*) en medios de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA), evaluando y observando el crecimiento radical y la capacidad antagónica de cada tratamiento durante un lapso de 13 días. Los resultados mostraron que los tratamientos T1R2 y T2R2 presentaron mayor porcentaje de inhibición del 45.5 %, demostrando la capacidad antagonista por encima de los demás tratamientos.

Palabras clave: *porcentaje de inhibición, confrontación, cepas, capacidad antagónica*

ABSTRACT

This research project aimed to evaluate the *Trichoderma yunnanense* strains inhibition percentage against phytopathogenic fungi affecting lettuce crops, using dual confrontation under laboratory conditions. A completely randomized experimental design was implemented, consisting of four treatments with different *T. yunnanense* strains and one pathogenic strain (*Fusarium*) on Potato Dextrose Agar (PDA) culture media. Root growth and antagonistic capacity were evaluated and observed for each treatment over a period of 13 days. The results showed that treatments T1R2 and T2R2 exhibited the highest inhibition percentage at 45.5%, demonstrating superior antagonistic capacity compared to the other treatments.

Keywords: *inhibition percentage, confrontation, strains, antagonistic capacity*

INTRODUCCIÓN

En Mexico, el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) representa una de las hortalizas con mayor impacto económico, ya que la producción de este vegetal alcanza grandes cifras de producción, según el Servicio de

Información Agroalimentaria y Pesquera (2024) registrando superficies sembradas de más de 21,540.16 hectáreas, liderado por el estado de Guanajuato que presenta cifras con más de 7,052 hectáreas cultivadas y con un valor económico mayor a $150,543.66.

Debido a su gran demanda en el sector agrícola, la producción de esta hortaliza enfrenta diversos problemas fitosanitarios, entre los cuales destacan, las enfermedades causadas por hongos presentes en los suelos (Gauthier, 2022). Estas enfermedades afectan directamente las raíces y el sistema vascular de la planta, lo que se traduce en un amarillamiento progresivo, pérdida de turgencia y muerte prematura de las plantas (Robledo, 2016). No obstante, la aplicación constante de fungicidas químicos ha generado efectos adversos, como la contaminación del suelo, la disminución de su fertilidad y la aparición de cepas resistentes, afectando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Arias et al., 2009).

Ante tales adversidades, el control biológico se presenta como una alternativa sustentable para el manejo y control de enfermedades ligadas a hongos del suelo. Basándose métodos donde se utilizan a los microorganismos benéficos capaces de antagonizar, inhibir o eliminar patógenos del suelo mediante distintos mecanismos (Vinchira et al., 2019).

Una especie aislada inicialmente en Yunnan, China, *Trichoderma yunnanense* ha mostrado una fuerte capacidad antagónica frente a hongos fitopatógenos como *Fusarium* spp. inhibiendo su crecimiento (Karmakar et al., 2021). Estas cepas actúan a través de la secreción de enzimas hidrolíticas, la producción de compuestos antifúngicos y la colonización rápida de la rizosfera, donde desplaza a los patógenos mediante competencia por espacio y nutrientes (Yu et al., 2007). Además, favorece el desarrollo de las plantas al mejorar la absorción de nutrientes, incrementar la biomasa radicular y estimular la síntesis de clorofila y azúcares (Hernández, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y material genético. El proyecto de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, en el área del laboratorio, ubicado en el municipio de Abasolo, Guanajuato, a una altitud de 1,704 msnm y coordenadas geográficas 20°27’04’’ N y 101°31’44’’ O. En la investigación se emplearon cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense* y dos cepas de *Fusarium* obtenidas de plantas de lechuga infectadas con síntomas visibles de marchitez, recolectadas en el rancho “Los Martínez” en Irapuato, Guanajuato.

Diseño y unidad experimental. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, conformado por cinco tratamientos: T1: R1, T2: R2, T3: R3, T4: R4 y T5 (testigo): hongo patógeno (*Fusarium*). La resiembra de las cepas de *Trichoderma yunnanense* se realizaron en medios de cultivo PDA (Papa Dextrosa) cortando un trozo de 1 cm² de colonias activas y se posicionó en el centro de las cajas. Luego, estas se llevaron a incubar a una temperatura de 25–30 °C hasta que se observó un crecimiento completo.

Después de la siembra se llevó a cabo el aislamiento del patógeno, donde se recolectaron muestras de plantas de lechuga con síntomas de marchitez. Los fragmentos que lucían con afectaciones se sembraron y se incubaron entre 25 y 28 °C por una semana, hasta obtener el desarrollo de colonias. Guiados por la metodología estipulada por Agrios. (2005), se inició con la incubación de cámaras húmedas para observar la estructura con mayor nitidez en un microscopio Primo Star® 10x/0,25, con el cual, se identificaron sus características morfológicas confirmando su correspondencia con *Fusarium* spp. Luego, se inició la confrontación de las cepas de *Trichoderma yunnanense* y *Fusarium*. Después de los tres días de incubación, se observó un crecimiento más rápido de *Trichoderma* en comparación con el patógeno, cubriendo aproximadamente dos tercios de la superficie del medio de cultivo.

El porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) se utilizó como parámetro principal para determinar la eficacia de cada tratamiento, calculado mediante la fórmula PICR = [(R1 – R2) / R1] × 100, donde R1 representa el crecimiento del hongo patógeno sin antagonista y R2 el crecimiento en presencia de *Trichoderma yunnanense.*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que las combinaciones T1: R1 y T2:R2 presentaron mayor efectividad, alcanzando porcentajes de inhibición de 45.57 % y 45.48 % respectivamente. Por otro lado, el tratamiento testigo (sin antagonista) mostró 0 % de inhibición, lo que evidencia la acción directa del hongo antagonista sobre el patógeno.

Cuadro 1. Cuadrado de medios del día 13 de la aplicación de *Trichoderma* en el control de *Fusarium***.**

Fuente de variación	gl	% de inhibición
F*usarium* (Fus)	1	1.0327208*
Tratamientos (Trat)	4	52.2207462**
Fus*Trat	4	0.2159832
Error		0.1169708
C.V. (%)		5.447666

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad,

Se observó que los tratamientos con mayor efectividad correspondieron a aquellos en los que *Trichoderma yunnanense* presentó un rápido crecimiento radial y un mayor sobrecrecimiento sobre el micelio del *Fusarium*, demostrando una fuerte competencia por espacio y nutrientes. Estas cepas manifestaron una capacidad significativa para limitar el desarrollo del patógeno mediante la producción de compuestos antifúngicos y la colonización de la superficie del medio, lo que inhibió la expansión del micelio de *Fusarium*.

Cuadro 2. Valores promedios del día 13 de la aplicación de *Trichoderma* en el control de *Fusarium*.

Fuentes de variación	% de inhibición	
Tratamientos		
T1:R1	60.2055876	a
T2:R2	60.0992356	a
T3:R3	59.9133421	a
T4:R4	46.568609	b
T5 (testigo)	0	c

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

En cuanto a los días de evaluación, los niveles de inhibición más alto se registraron el día 13 posteriores al establecimiento del bioensayo, alcanzando valores promedio de 38.41 %. Este comportamiento coincide con lo reportado por Kaur et al. (2021), quienes destacan que la acción biocontroladora de *Trichoderma* aumenta conforme el antagonista coloniza el sustrato y libera metabolitos secundarios que reducen la viabilidad del patógeno.

Cuadro 3. Porcentaje de inhibición de cada cepa

Fusarium		
Fusarium 1	40.778125	a
Fusarium 2	36.1197748	b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

CONCLUSIONES

El uso de agentes biológicos puede representar una alternativa eficaz y sostenible frente al manejo tradicional con fungicidas químicos en el control de enfermedades fitopatógenas del suelo. El estudio logró comprobar que *Trichoderma yunnanense* destaca una capacidad antagonista frente a *Fusarium*, ya que se observaron porcentajes de inhibición superiores al 45 % en los tratamientos más efectivos, proponiendo la eficacia de *T. yunnanense* como agente de biocontrol.

AGRADECIMIENTOS

Se extiende el presente agradecimiento al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Nacional de México, por todo el apoyo brindado durante el desarrollo del presente proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, P., López, J., & Ramírez, F. (2009). Uso racional de fungicidas en la agricultura moderna. *Revista de Protección Vegetal*, 24(3), 45–53.

Gauthier, N. (2022). Marchitez por Fusarium en cultivos de hortalizas. *University of Kentucky*.

Hernández, J., López, D., & Márquez, E. (2019). Ciclo de vida y mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. *Revista de Fitopatología, 57*(2), 112–120.

Karmakar, S., Patel, R., & Bhattacharya, A. (2021). Biocontrol potential of Trichoderma yunnanense against soil-borne pathogens. Plant *Pathology Journal, 37*(5), 101–110. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.05.2021

Robledo, O. (2016). Marchitamiento fúngico en plántulas de lechuga: un modelo didáctico-experimental. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 13*(3), 680–685.

Vinchira, V., & Moreno, M. (2019). El control biológico en la agricultura sostenible. *Agroecología y Ciencia del Suelo, 8*(2), 55–63.

Yu, D., Zhang, J., & Li, Q. (2007). Morphological and phylogenetic identification of *Trichoderma yunnanense. Mycological Research, 111*(12), 1455–1462. https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.09.003.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO DE DOS CEPAS DE *Pleurotus ostreatus* EN LA ZONA COSTERA DEL ESTADO DE VERACRUZ

Nick Virgen Barradas[1], Juana Fabiola Jiménez Flores[2], Daniel Utrera Lopez[3], Montserrat Acosta Cadenas[4], Ramiro Sánchez Uranga[5]

[1]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [2]Lic.en Biología Tecnológico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667., [3]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [4]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667; [5]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667. Autor de correspondencia: L22885445@ugalvan.tecnm.mx.

RESUMEN

El Pleurotus ostreatus blanco de la zona costera del estado de Veracruz y el Pleurotus ostreatus Sur de Chiapas pertenecen a la misma especie de hongo comestible conocido como hongo ostra, ampliamente cultivado por su valor alimenticio y facilidad de producción. El Pleurotus blanco se caracteriza principalmente por su coloración clara (blanco crema) textura carnosa y crecimiento en racimos sobre materiales orgánicos como pajas y rastrojos o madera. Es muy apreciado por su alto contenido de proteínas, fibra y compuestos beneficiosos, además de uso culinario en diversos platillos. Por otro lado, el Pleurotus de la zona Sur de Chiapas no es una especie distinta, sino una cepa o variedad regional adaptada a las condiciones Sur de Chiapas, lo que lo permite desarrollarse mejor en climas cálidos subhúmedos y aprovechar eficientemente residuos agrícolas locales como rastrojo de maíz o paja. Esta cepa suele presentar buen rendimiento, crecimiento rápido y resistencia a condiciones ambientales de la región, lo que la hace ideal para proyectos productivos rurales. Objetivos de la investigación es evaluar el rendimiento productivo (cantidad de hongos obtenido) en cada unidad de producción (cubetas de 19 litros). identificar cuál de las dos cepas presenta mejor adaptación a las condiciones de temperatura y humedad de la región. El conjunto, ambos representan el mismo tipo de hongo con ligeras diferencias: el blanco destaca por su apariencia y preferencia comercial, mientras el Pleurotus de la zona Sur de Chiapas sobre sale por su adaptación local y productividad, siendo ambos importantes en la alimentación y en sistemas agrícolas sustentables.

ABSTRACT

The white *Pleurotus ostreatus* from the coastal region of Veracruz and the Pleurotus ostreatus from southern Chiapas belong to the same species of edible mushroom known as the oyster mushroom, widely cultivated for its nutritional value and ease of production. The white Pleurotus is characterized primarily by its light color (creamy white), fleshy texture, and growth in clusters on organic materials such as straw, crop residue, or wood. It is highly valued for its high protein, fiber, and beneficial compound content, as well as its culinary use in various dishes.

On the other hand, the Pleurotus from southern Chiapas is not a distinct species, but rather a regional strain or variety adapted to the conditions of southern Chiapas. This adaptation allows it to thrive in warm, sub-humid climates and efficiently utilize local agricultural waste such as corn stubble or straw. This strain typically exhibits good yield, rapid growth, and resistance to the region's environmental conditions, making it ideal for rural production projects. The research objective is to evaluate the productive yield (quantity of mushrooms obtained) in each production unit (19-liter buckets) and to identify which of the two strains is better adapted to the temperature and humidity conditions of the region. Both strains represent the same type of mushroom with slight differences: the white strain stands out for its appearance and commercial appeal, while the Pleurotus from southern Chiapas is notable for its local adaptation and productivity. Both are important for food and sustainable agricultural systems.

Palabras clave: *Pleurotus, Hongo, Ostreatus, Comportamiento, Cepa*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de hongos del género pleurotus ostreatus ha cobrado gran importancia en México debido a su alto valor nutricional, facilidad de producción y capacidad para aprovechar residuos agrícolas. En la zona costera del estado de Veracruz, caracterizada por un clima cálido húmedo y subhúmedo con temperaturas que pueden oscilar entre 27 y 32 ºC, las condiciones ambientales representan un factor determinante en el desarrollo de estas cepas. En general, el pleurotus ostreatus requiere temperaturas más moderadas para su fructificación, porque las altas temperaturas de esta región pueden influir en su crecimiento, rendimiento y su calidad de producción.

Sin embargo, estudios realizados en Veracruz han demostrado que algunas cepas adaptadas o nativas pueden presentar mayor eficiencia biológica, rapidez de crecimiento y mejores rendimientos, incluso superando a cepas comerciales en condiciones tropicales. En este contexto la comparación entre pleurotus ostreatus blanco y la cepa Pleurotus de la zona Sur de Chiapas, permite analizar su comportamiento en función de factores como temperatura, humedad, tipo de sustrato y adaptación climática. Por lo tanto, el estudio del comportamiento de estas dos cepas en la zona costera de Veracruz es fundamental para determinar si la cepa de Chiapa logra adatarse en productividad y viabilidad, contribuyendo el desarrollo de sistemas de producción sustentables en regiones tropicales. En el planteamiento del problema el cultivo del hongo pleurotus ostreatus representa una alternativa sustentable para la producción de alimentos y el aprovechamiento de residuos agrícolas en México. Sin embargo, su rendimiento y calidad están altamente influenciados por condiciones ambientales, específicamente la temperatura y humedad, factores que presentan variaciones significativas en regiones tropicales como la zona costera de Veracruz.

En estas zonas, las altas temperaturas y la elevada humedad relativa pueden afectar el desarrollo del micelio, la formación de cuerpos fructíferos y la productividad del cultivo. A pesar de que ambas pertenecen a la misma especie, se desconoce el comportamiento de la cepa de la zona sur de Chiapas, en el caso de la cepa del hongo blanco de la zona costera de Veracruz ya está adoptada a estas condicione climáticas esperemos tener resultados favorables en cuanto a su adaptación, eficiencia biológica y rendimiento productivo bajo las condiciones específicas de la zona costera de Veracruz. Esta falta de información limita la toma de decisiones de los productores, quienes requieren alternativas más eficientes y adaptadas a su entorno. Por lo tanto, surge la necesidad de analizar y comparar el comportamiento de estas dos cepas en dichas condiciones, con el fin de identificar cual ofrece mejores resultados productivos y puede contribuir al fortalecimiento de sistemas de producción de hongos más eficientes y sostenibles de la región.

Generalidades del Pleurotus ostreatus, el hongo Pleurotus ostreatus, conocido como hongo ostra, es un basidiomiceto ampliamente distribuido a nivel mundial y reconocido por su capacidad de crecer sobre materiales lignocelulósicos, como madera y residuos agrícolas. Este hongo actúa como saprófito, descomponiendo materia orgánica y facilitando el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas (Sánchez, 2010). Además, su facilidad de cultivo y rápido crecimiento lo convierten en una opción viable para la producción de alimentos (Chang & Miles, 2004). Las características biológicas y fisiológicas Pleurotus ostreatus presenta un micelio de crecimiento rápido que coloniza eficientemente diversos sustratos. Sus cuerpos fructíferos tienen forma de ostra y pueden variar en color dependiendo de la cepa. Su ciclo de vida incluye una fase vegetativa (micelial) y una fase reproductiva (formación de basidiocarpos), ambas influenciadas por factores ambientales como temperatura, humedad y ventilación (Carlile, Watkinson & Gooday, 2001). Cepas de Pleurotus ostreatus son variantes genéticas dentro de una misma especie que presentan diferencias en su adaptación y comportamiento productivo. En este contexto, el *Pleurotus* blanco corresponde a una cepa comercial ampliamente difundida, mientras que la cepa “Pleurotus de la zona Sur de Chiapas” representa una variante regional adaptada a condiciones climáticas cálidas. Estas diferencias pueden reflejarse en el rendimiento, velocidad de crecimiento y tolerancia a factores ambientales (Sánchez, 2010). Los requerimientos ambientales para el cultivo de Pleurotus ostreatus depende de condiciones ambientales específicas. La temperatura óptima de crecimiento oscila entre 18 y 25 °C, mientras que la humedad relativa debe mantenerse entre 80 y 90 %. Asimismo, la ventilación adecuada es fundamental para evitar la acumulación de dióxido de carbono, y la iluminación indirecta favorece la formación de cuerpos fructíferos (Chang & Miles, 2004). En regiones tropicales, temperaturas elevadas pueden afectar negativamente la fructificación (Royse, Baars & Tan, 2017). Sustratos y eficiencia biológica Pleurotus ostreatus puede cultivarse en una amplia variedad de sustratos lignocelulósicos, como paja de trigo, rastrojo de maíz, aserrín y bagazo de caña. La eficiencia biológica es un indicador clave que relaciona la cantidad de hongos producidos con el peso del sustrato utilizado, permitiendo evaluar la productividad del cultivo (Sánchez, 2010). Importancia

económica y ambiental el cultivo de Pleurotus ostreatus tiene gran relevancia debido a su valor nutricional, ya que es rico en proteínas, fibra y compuestos bioactivos. Además, contribuye al aprovechamiento de residuos agrícolas, reduciendo la contaminación y promoviendo sistemas de producción sustentables (Royse et al., 2017). Influencia del ambiente en el comportamiento de las cepas

Las condiciones climáticas influyen directamente en el rendimiento del cultivo. En zonas cálidas y húmedas, como la costa de Veracruz, las altas temperaturas pueden limitar la producción de algunas cepas comerciales. Sin embargo, cepas adaptadas localmente pueden presentar mayor tolerancia y mejores resultados productivos (Sánchez, 2010). Importancia de la comparación entre cepas. El análisis comparativo entre cepas permite identificar aquellas con mejor adaptación y rendimiento en condiciones específicas. Esto es fundamental para optimizar la producción y mejorar la eficiencia del cultivo en regiones tropicales (Royse et al., 2017).

Ubicación del experimento el presente proyecto se realizó en el laboratorio de Biotecnología 2 del Tecnológico Nacional de México, campus Úrsulo Galván, localizado en la carretera Cardel Chachalacas Km. 4.5 en Úrsulo Galván, Ver. Mpio. de Úrsulo Galván. Las coordenadas 19°24´42" latitud norte y 96°21´30" longitud oeste. Descripción Climática. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1981) en el Municipio de Úrsulo Galván predomina el clima cálido subhúmedo (Aw2) con lluvias en verano. La temperatura media anual fluctúa entre 22 y 24^{0}C Con máximas de 35^{0}C en los meses más calurosos y mínimas de 16°C en los meses invernales, la humedad relativa esta entre 70 y 80% y se encuentra ubicado a 8 msnm (De la fuente et al., 2004).

Los materiales empleados en este estudio fueron: Tambo de 200 L, Canastilla de fierro, Anaqueles con 4 niveles. Equipo de protección (cofia, cubre bocas, bata), un Quemador de gas, Equipo de limpieza (jabón, cepillo, jalador, escoba, cloro), cuchillo, cubetas de 19 litros de plástico junto con sus tapaderas. Materia prima: Paja de cebada, 10 kilos de micelio de hongo *Pleurotus blanco* y *Pleurotus* de la zona Sur de Chiapas.

Metodología. La materia prima en este caso se utilizó paca de cebada para la poner a hervirla y se pone al fuego en el tambo de 200 L, dentro del tambo contendrá el sustrato y agua en la canastilla de maya hasta que quede hervida, una vez hervida se saca del tambo ya sea con una polea o con una palanca. Ya una vez extraida la canastilla del tambo se vacía en una cama de escurrimiento y se enfría, posteriormente se distribuye en botes de plástico de 19 L, previamente se ha desinfectado y esterilizado tanto los contenederos y las tapas respectivas se procede a perforar con (16 a 18) orificios en forma circular en la parte laterales de las cubetas, los orificios estarán sellados con cinta microporo, ya que permite mejor la circulación del aire y la emergencia del hongo. Para realizar la siembra se desinfecta las manos y se emplean guantes estériles, se usa cubrebocas y cofia

para el cabello, para evitar contaminación tanto en el sustrato como en los inóculos de siembra del micelio, al momento de sembrar, el micelio se dispersa una capa en el fondo de la cubeta posteriormente se coloca el sustrato, así se aplican capas sucesivamente, entre cada capa se aplican las semillas de sorgo, cada capa debe estar comprimida para que colonice más rápido el sustrato ye tenga una producción y cosecha más rápida.



Figura 1. Desarrollo del ***P. ostreatus*** de la zona de Chiapas a) Cuerpo fructifero, b) peso al momento de la coseha, c) longitud del pileo (Jiménez Flores 2026).



Figura 2. Longitud del píleos de 24 y 21 cm de ***P. ostreatus*** de la zona de Chiapas (Jiménez Flores 2026).



Figura 3. Cosecha de cuerpos frutíferos y colecta de de ***P. ostreatus*** var. Blanca de la zona de Veracruz (Jiménez Flores 2026).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Pesos de las unidades experimentales de la sepa *Pleurotus ostraetus* variedad blanca del ITUG, Veracruz.

No	Variedad	No/cubeta	Fecha de siembra	Peso (kg)	Peso/Cubeta S/S (kg)	Peso Sustrato (kg)	Rendto (kg)
1	Pleurotus.B	15	15/12/2025	3.2	1.1	2.1	2.365
2	Pleurotus.B	18	15/12/2025	5.55	1.1	4.45	3.055
3	Pleurotus.B	19	15/12/2025	4.1	1.1	3	1.980
4	Pleurotus.B	1	05/11/2025	4.6	1.1	3.5	2.084
5	Pleurotus.B	13	15/12/2025	3.1	1.1	2	3.252
6	Pleurotus.B	16	15/12/2025	4.75	1.1	3.65	2.653
7	Pleurotus.B	15	05/11/2025	4.75	1.1	3.65	1.760
8	Pleurotus.B	11	05/11/2025	6.6	1.1	5.5	3.690
9	Pleurotus.B	5	05/11/2025	4.7	1.1	3.6	2.272
10	Pleurotus.B	9	15/12/2025	5.55	1.1	4.45	2.460

Cuadro 2. Pesos de las unidades experimentales de la sepa *Pleurotus ostraetus* variedad del Sur de Chiapas.

No	Variedad	No/cubeta	Fecha/siembra	Peso (kg)	PesoCubeta S/S (kg)	Peso Sustrato (kg)	Rendto (kg)
1	Sur de chiapas	7	14/10/2025	5.55	1.1	4.45	1.762
2	Sur de chiapas	4	14/10/2025	3.7	1.1	2.60	0.998
3	Sur de chiapas	1	14/08/2025	3.7	1.1	2.60	0.753
4	Sur de chiapas	13	14/10/2025	3.4	1.1	2.30	1.013
5	Sur de chiapas	3	15/10/2025	5.8	1.1	4.70	0.930
6	Sur de chiapas	22	23/10/2025	6.25	1.1	5.15	1.033
7	Sur de chiapas	2	14/10/2025	2.7	1.1	1.60	1.310
8	Sur de chiapas	19	15/10/2025	6.55	1.1	5.45	0.521
9	Sur de chiapas	6	15/12/2025	6.55	1.1	5.45	0.712
10	Sur de chiapas	18	16/10/2025	6.55	1.1	5.45	0.749

CONCLUSIONES

El *Pleurotus ostreatus* del sur de Chiapas. De acuerdo con las temperaturas registradas en el mes de Octubre en la localidad de Úrsulo Galván se observó un comportamiento de crecimiento distinto. Creció con un tamaño de diámetro diferentes entre un rango de 21 hasta los 24 cm de diámetro, a la temperatura de 25 a 27°C, considerado el crecimiento de manera general es un diámetro de 15 a 17cm de diámetro con una temperatura de 15 a 22 °C. Del pleurotus ostreatus de la zona sur de Chiapas en comparación no todas tuvieron el mismo rendimiento, de 10 cubetas solo dos tuvieron un buen rendimiento con pesos de 1.762 y 1.310 kg mientras que las cubetas restantes tuvieron una cosecha promedio de 500 a 900 gramos.

El *Pleurotus ostreatus* blanco de acuerdo a las condiciones registradas de Úrsulo Galván con una temperatura de 25°C a 27°C, de 10 cubetas sembradas tuvieron mejor rendimiento a comparación del Pleurotus ostreatus de la zona sur de chipas. Las 10 cubetas tuvieron un promedio de 2.500kg a 3.500kg de peso. Cabe mencionar que es el primer ensayo que se realiza introduciendo una cepa de otra zona con temperatura y humedad

completamente diferentes a la zona costera de Veracruz, se tiene a resguardo material vegetativo de (Seudotejido) para continuar sembrando la cepa de la zona de Chiapas y lograr su adaptación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agromática. (s.f.). Cultivo de Pleurotus ostreatus. https://www.agromatica.es/cultivo-pleurotus-ostreatus/

Autor(es) desconocido(s). (2023). [Artículo sobre Pleurotus ostreatus]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.06187

Artículo de SciELO. (2019). Artículo científico sobre Pleurotus. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-13212019000100208

Artículo de SciELO. (2009). Artículo científico relacionado. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802009000100006

Asturnatura. (s.f.). Pleurotus ostreatus. https://www.asturnatura.com/especie/pleurotus-ostreatus

Carlile, M. J., Watkinson, S. C., & Gooday, G. W. (2001). The fungi. Academic Press.

Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact (2nd ed.). CRC Press.

Hispanopedia. (s.f.). Pleurotus ostreatus. https://es.hispanopedia.com/wiki/Pleurotus_ostreatus

Flores Ninja. (s.f.). Pleurotus ostreatus. https://www.flores.ninja/pleurotus-ostreatus/

Jardinería On. (s.f.). Champiñón ostra (Pleurotus ostreatus). https://www.jardineriaon.com/champinon-ostra-pleurotus-ostreatus.html

Jardinería On. (s.f.). Gírgolas. https://www.jardineriaon.com/girgolas.html

Sánchez, C. (2010). Cultivation of Pleurotus ostreatus and other edible mushrooms. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(5), 1321–1337.

Micología Fandom. (s.f.). Pleurotus ostreatus. https://micologia.fandom.com/es/wiki/Pleurotus_ostreatus

Micoex. (2016). Pleurotus ostreatus. https://micoex.org/2016/09/17/pleurotus-ostreatus/

Pacho Setas. (s.f.). ¿Cuáles son las características de Pleurotus ostreatus? https://pachosetas.com/modo-de-uso/cuales-son-las-caracteristicas-de-pleurotus-ostreatus/

Pan de Setas. (s.f.). Pleurotus ostreatus. https://www.pandesetas.com/pleurotus-ostreatus/

Revista ALAN. (1998). Artículo sobre hongos comestibles. https://www.alanrevista.org/ediciones/1998/4/art-14/*

Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. En Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications (pp. 5–13). Wiley.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO DE *Pleurotus djamor* EN 4 MEZCLAS DE SUSTRATOS INTERGENÉRICAS

Juana Fabiola Jiménez Flores[1]; Pedro Alarcón Acosta[2]; Daniel Utrera López[3]; Montserrat Acosta Cadenas[4]; José Daniel Utrera Jimenez[5]

[1]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México, C.P. 91667. [2]Lic.en Biología Tecnológico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México; [3]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México; [4]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México; [5]Tecnologico Nacional de México campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván Veracruz, México. Autor de correspondencia: juana.jf@ugalvan.tecnm.mx.

RESUMEN

Los hongos juegan un papel muy significativo en la manutención del equilibrio ecológico al poder cultivarse en esquilmos agrícolas, subproductos agroindustriales y forestales, obteniendo un valor agregado de estos "desechos", la producción de hongos comestibles representa una economía circular ya que se produce un alimento de alta calidad a partir de desechos agrícolas en la nutrición humana y actuando como descomponedores primarios para terminar como alimento de ganado o bien como materia orgánica para la obtención de fertilizantes no convencionales y a su vez, un alimento con alto valor nutritivo y de calidad. Además, el costo de producción resulta bajo y el cultivo se da en periodos de tiempo muy cortos, coadyuvando al programa de soberanía alimentaria. La presente investigación (Determinación el comportamiento en cuanto a rendimiento de *Pleurotus djamor* en 4 mezclas de sustratos intergenéricas) se evaluó el rendimiento del hongo comestible Pleurotus djamor utilizando cuatro mezclas de sustratos intergenéricas elaboradas con residuos lignocelulósicos de origen agrícola. Los objetivos determinar el comportamiento de Pleurotus djamor en 4 mezclas de sustrato para su cultivo y determinar la mezcla óptima para el rendimiento productivo del *Pleurotus djamor*. El consumo frecuente de algunos tipos de hongos beneficia nuestra salud y bienestar general, sobre todo en lo que se refiere a la prevención de las enfermedades que comúnmente ocasionan las dietas inadecuadas

ABSTRACT

Fungi play a very significant role in maintaining ecological balance, as they can be cultivated on agricultural waste, agro-industrial byproducts, and forestry byproducts, thus obtaining added value from these "waste" materials. The production of edible mushrooms represents a circular economy, since a high-quality food is produced from agricultural waste for human nutrition, acting as primary decomposers and ultimately becoming livestock feed or organic matter for obtaining non-conventional fertilizers. Furthermore, it is a food with high nutritional value and quality. In addition, the production cost is low, and cultivation takes place in

very short periods, contributing to food sovereignty programs. This research (Determination of the yield behavior of Pleurotus djamor in 4 intergeneric substrate mixtures) evaluated the yield of the edible mushroom Pleurotus djamor using four intergeneric substrate mixtures made with lignocellulosic residues of agricultural origin. The objectives are to determine the behavior of Pleurotus djamor in four substrate mixtures for its cultivation and to determine the optimal mixture for the productive performance of Pleurotus djamor. Frequent consumption of certain types of mushrooms benefits our health and general well-being, especially in terms of preventing diseases commonly caused by inadequate diets.

Palabras claves: *Pleurotus, sustrato, djamor, alimento, rendimiento, sustrato*

INTRODUCCIÓN

El *Pleurotus djamor* está seta, también conocida como oreja de patancán, es un excelente productor de magníficos y bellos racimos de setas comestibles en forma de tejas, muy apreciadas en cocina por su sabor y textura. su micelio se desarrolla perfectamente en sustratos ricos en paja pasteurizada en temperaturas entre 22 y 28º. también se puede cultivar sobre troncos. Son probióticos, lo cual significa que ayudan al organismo a combatir las enfermedades, restaurando el bienestar y el equilibrio natural, haciendo que nuestro sistema inmune funcione correctamente para eliminar a los agentes externos que pudieran desequilibrar nuestra salud. además de que son deliciosos y muy versátiles para ser utilizados en cualquier estilo culinario. El consumo frecuente de algunos tipos de hongos podría beneficiar nuestra salud y bienestar general, sobre todo en lo que se refiere a la prevención de las enfermedades que comúnmente ocasionan las dietas inadecuadas. La especie *pleurotus djamor*, conocida en español como oreja de patacán, es una cepa común en las zonas de clima tropical de todo el mundo, capaz de ofrecer una serie de interesantes beneficios nutricionales, económicos y ecológicos. se distingue de otras especies de setas por su capacidad para crecer en lugares de clima tropical donde la temperatura ambiente acostumbra a superar con facilidad la barrera de los 30º también se caracteriza por el color rosa brillante de sus primordios y porque puede crecer y propagarse en forma muy agresiva en distintas clases de troncos y sustratos, incluso en aquellos suelos que no han sido pasteurizados. no obstante, la importancia de los rastrojos, estos han pasado desapercibos por los sectores académico y gubernamental en México, como lo demuestra la limitada información científica que existe sobre ellos. asimismo, es evidente que no se han tomado en cuenta explícitamente en políticas y estrategias gubernamentales que buscan la sustentabilidad en el medio rural. de ahí la necesidad de documentar la situación actual de los rastrojos en México, qué se hace con ellos, cómo se aprovechan, qué papeles juegan en la actividad agropecuaria y cuál es su contribución futura para alcanzar la sustentabilidad. En México, el mayor volumen de rastrojos se obtiene de los cereales y está asociado directamente con la producción de granos por lo que, conforme aumenta la cantidad de granos producida para satisfacer la demanda alimenticia de la población, aumenta la disponibilidad

de estos residuos. la cantidad de rastrojos presentes en el mundo afecta indiscutiblemente al medio ambiente, en especial al aire, suelo y agua, provocando en ellos un deterioro que en un futuro puede ser un problema difícil de resolver. os hongos tienen la capacidad de crecer sobre una gran variedad de sustratos, la bioconversión de residuos agrícolas e industriales a alimentos ha atraído la atención del mundo en años recientes, siendo el cultivo de hongos un método eficiente para la disposición de los residuos agrícolas, como también la producción de alimentos nutritivos. (Bhatti et al., 2007) (Karina et al,2006) (Scielo et al 2013). La acumulación de residuos agrícolas representa un problema ambiental en muchas regiones del estado de Veracruz productoras, de frijol, maíz, cacahuate, café etc.; debido a que gran parte de estos materiales son quemados o desechados sin ningún aprovechamiento. Esta situación genera contaminación atmosférica, al suelo, a ríos y pérdida de recursos potencialmente útiles para procesos biotecnológicos. La producción de hongos comestibles constituye una alternativa sustentable para transformar residuos lignocelulósicos en alimentos nutritivos, de alto valor comercial y costos de inversión bajos. Sin embargo, el rendimiento de *Pleurotus djamor* puede variar considerablemente dependiendo de la composición del sustrato empleado, ya que cada material presenta diferencias en contenido de nutrientes, capacidad de retención de humedad, aireación y rendimiento. El cultivo de Pleurotus djamor representa también una opción para alimentar al ganado después de que la unidad de producción de hongos (mazacote) a llegado a su etapa final de producción.

El *Pleurotus djamor* se distingue de otras especies de setas por su capacidad para crecer en lugares de clima tropical donde la temperatura ambiente acostumbra a superar con facilidad la barrera de los 30ºC.También se caracteriza por el color rosa brillante de sus primordios y porque pueden crecer y propagarse en forma muy agresiva en distintas clases de troncos y sustratos, incluso en aquellos suelos que no han sido pasteurizados, al igual que otros hongos cultivados los ejemplares de *Pleurotus djamor* crecen de manera natural en troncos de árboles en descomposición o en diferentes materiales orgánicos obtenidos como subproductos de las actividades agrícolas como los desechos de los cultivos de maíz, trigo, sorgo, caña de azúcar, avena, cebada y arroz. También se puede recurrir a la fibra de coco e incluso a restos de papel si bien el *Pleurotus djamor* puede crecer sin dificultades en cualquier clase de sustrato orgánico es conveniente seguir los pasos habituales de la preparación del sustrato donde van a desarrollarse con el fin de garantizar un mejor producto final. (Álvarez *et al*., 2013) (Alarcón *et al*., 2016).

Taxonomía y características macroscópicas *Pleurotus djamor*, comúnmente conocido como el hongo ostra de color rosa, es una especie de hongo en la familia Pleurotaceae. Originalmente fue nombrado Agaricus djamor su clasificaron es Ostras Djamal, Reino: hongos, División: Basidiomycota, Clase: Agaricomycetes, Orden: agaricales, Familia: Pleurotaceae, Genero: Ostra, Especies: Pleurotus djamor, nombre binomial: ostras Djamal. Características macroscópicas hongos de fructificaciones carnosas, en forma de repisas redondas, de 3 a 8

cm de ancho, a veces algo lobuladas, sésiles o con estípite lateral muy corto; color rosa anaranjado en todas sus partes. superficie lisa, láminas bien definidas contexto blanquecino, crece en conjunto sobre árboles podridos. (Rumph et al 1959). Las características generales del hongo seta son hongos que se desarrollan principalmente sobre troncos en descomposición u otros substratos vegetales. Cada hongo está formado por una serie de finos filamentos llamados hifas que en conjunto forman lo que se denominan micelio en la naturaleza y bajo condiciones favorables de humedad y temperatura este micelio extendido sobre un substrato adecuado se transforma en pequeños grumos que van aumentando de tamaño hasta formar la típica seta. El hongo formado con su sombrero y su pie tiene la función y producir las estructuras de reproducción llamadas esporas cuya misión es perpetuar la especie estas esporas se forman en la cara inferior del sombrero en unas laminas verticales que se extienden desde la parte superior del pie hasta el borde del sombrero. (Gabriela et al 2016) (Caballero et al 2013).

Factores que afectan el crecimiento de *pleurotus* para su crecimiento son condiciones específicas de temperatura, humedad, pH, luz y aireación para cada uno de estos factores existe un rango delimitado por un punto mínimo y un punto máximo, bajo y sobre los cuales no habrá crecimiento. (OCA et al 2012). Temperatura la mayoría de los hongos son mesófilos, por lo que crecen a temperatura entre 5 y 40ºC. generalmente el rango de temperatura optima se encuentra entre 25 y 33ºC para el crecimiento miceliar. Fructifican a 28ºC. (OCA et al 2012). Humedad el crecimiento máximo del micelio de la mayoría de las especies de *Pleurotus* ocurre a una humedad relativa entre 60-95%. (OCA et al 2012). pH Los hongos tienen un rango amplio de pH, en el que pueden crecer, pero la mayoría de ellos prefieren un medio acido para su desarrollo. El pH adecuado para el crecimiento miceliar de *pleurotus* oscila entre 6.0-7.0. (OCA et al 2012)

Luz Se requiere luz para el crecimiento del micelio, cierta cantidad es esencial para la esporulación en muchas especies. La luz también juega un papel importante en la dispersión de las esporas, ya que las estructuras encargadas de expulsarlas en muchos hongos son fototroficas. Por parte, algunas especies requieren de oscuridad total para lograr el crecimiento de cuerpos frutiferos. (OCA et al 2012). Aireación La mayoría de los hongos son aerobios estrictos y requieren de al menos algunas moléculas de oxígeno libres en la atmosfera, es por eso que los cuerpos frutiferos generalmente crecen sobre o cerca de la superficie del sustrato. (OCA et al 2012). Valor nutrimental por consumo del *Pleurotus djamor*

La calidad nutrimental de la proteína de los hongos ha sido ampliamente estudiada, ya que una de las más importantes características biológicas de estos organismos son su capacidad de obtener el nitrógeno del sustrato de crecimiento y posteriormente sintetizarlo y transformarlo en aminoácidos. En este punto, los hongos del género *Pleurotus* son especialmente interesantes porque ellos pueden crecer en residuos lignocelulósicos

con muy bajo contenido de nitrógeno, teniendo la capacidad de producir biomasa con mayor contenido de nitrógeno que el sustrato en el que están creciendo (Rajarathnam *et al.,* 2008). Su calidad de proteína es alta, ya que está constituida principalmente por aminoácidos esenciales entre los que destacan la valina, isoleucina y fenilalanina, aunque también presentan valores aceptables de aminoácidos no esenciales como son, prolina, glutamato y aspartato (Ranzani y Sturion, 1998; Capetillo Leal *et al*., 2010). En cuanto a su palatabilidad, la especie se caracteriza por presentar un olor farináceo (harina húmeda) y cierta dureza y picor en sus fructificaciones frescas, aunque esta última característica es muy variable entre las cepas cultivadas (Ancona *et al*.2005).

Crecimiento del hongo *Pleurotus djamor* Los hongos comestibles del género *Pleurotus djamor*, también llamados setas, son organismos que utilizan selectivamente la lignina para su crecimiento. Debido a que este compuesto químico actúa como una barrera para la degradación biológica de los residuos lignocelulósicos, estos se acumulan en grandes cantidades. La alternativa de utilizar los residuos vegetales como sustratos para el cultivo de setas tiene importancia en la actualidad, porque se está implementando tecnologías para la producción de un alimento de consumo humano de calidad nutricional aceptable. Incidiendo directamente sobre un problema grave de contaminación (Barrero, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de tesis se realizó en el municipio de Úrsulo Galván en las coordenadas 19°24” latitud norte y 96°22” longitud oeste, contando con una altura de 20 msnm el cual se trabajó dentro de las instalaciones del instituto de Úrsulo Galván Dirección: KM 4.5 Carretera Cardel Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz rumbo al paraíso.

La metodología se utilizaron 2 tanques de 200 litros,1Tanque de gas de 30 kilos,2 canastillas de malla,1 kilo de bolsa de plástico de 40 X60 cm, Mesa de escurrimiento, Sustratos (frijol, cebada, maíz),10 kilos de micelio de hongo *Pleurotus djamor,* estantes, Hule negro, Balanza granataria, Rastrojo de maíz picado, Rastrojo de frijol picado, Olote picado, cebada. Diseño experimental en la investigación se utilizó un diseño completamente al azar. La cantidad de unidades que se utilizaron fueron 25 por cada tratamiento; se ocupó bolsas de polietileno de 40 x 60 cm de una mezcla de un peso de 5 Kg de sustrato húmedo.

Tratamientos T1 rastrojo de maíz y cebada, T2 rastrojo de maíz y olote, T3 rastrojo de frijol y cebada, T4 rastrojo de frijol y rastrojo de maíz. Limpieza del área de producción se realizará la limpieza con agua, jabón y cloro el área de trabajo con el fin de prevenir cualquier tipo de contaminación del lugar ya sea por plagas o

microorganismos que se encuentren en el área. Recolección del sustrato Se recolectarán diferentes tipos de sustratos en campo de la comunidad de barra de chachalacas como fueron rastrojo de maíz, frijol y la paja de cebada se compró los cuales algunos todavía no se encontraban completamente secos lo cual se procedió a ponerlos a secar al sol para secar y así proceder a picarlos ya sea a mano o con picadora.

Picado de los sustratos Una vez completamente secos nuestros sustratos se realizará el picado con la ayuda de una picadora a gasolina, o picada con un machete el tamaño de picado fue aproximadamente de 5 cm. Esto para su fácil manejo a la hora de la siembra en bolsa. Hidratación El sustrato se hidratará durante una hora utilizando un tanque de 200 litros, se le agrego agua y posteriormente se sumergió el sustrato.

Pasteurización del sustrato o residuo agrícola En un tanque de doscientos litros se pondrá el sustrato a una temperatura aproximada de 80°C durante una hora, una vez llegado el tiempo de pasteurización se sacará el sustrato con la ayuda de una palanca, posteriormente se escurre el sustrato y se deposita en la mesa de escurrimiento y enfriamiento para que el micelio no muera por el calor. Siembra de sustratos con hongos comestibles (micelio) Se tomará una bolsa de 40 X 60 se le agregara un poco de semilla y un poco de sustrato se agita para que la semilla se distribuya, después se repite semilla y sustrato así sucesivamente hasta que la bolsa tenga un peso aproximado de 5 kilos, la bolsa con sustrato debe de quedar lo más compactas posibles, la cantidad de semilla total que se deposita en la bolsa es de 150 gramos. Picado de bolsas después de la siembra se esperan alrededor de 12, 24 o 48 horas donde se realizará el picado de las bolsas con un cuchillo y con una dilución de 50ml de agua y 50ml de cloro se procederá a picar para permitir que salgan los gases generados como el bióxido de carbono, producto de la actividad bioquímica que se ha iniciado con el micelio incubándose. hacer orificios a la bolsa es un detalle muy sencillo pero importante ya que, de no hacerse, el cultivo moriría irremediablemente los orificios no deben ser muy grandes porque se corre el riesgo de que se contamine el cultivo, pero tampoco deben ser muy pequeños porque es por esos orificios que se desechan los gases generados. Incubación Las bolsas que fueron picadas y puestas en los anaqueles, se cubrieron con un hule negro ya que el micelio crece en oscuridad, una vez que el micelio cubrió el sustrato aparecieron los primeros primordios los cuales proseguimos a tomar los registros de su crecimiento de ser necesario se contaron durante 3 días ya que después de contar al día aparecían más en una bolsa en total pude dar más de 1000 primordios eso dependiendo el tipo de sustrato con el cual se haya implementado en la siembra en este caso mis sustratos fueron maíz, cebada y frijol. El riego se va a realizar diariamente con agua de la llave, para el desarrollo y estimulación de los primordios y carpóforos. Cosecha Una vez alcanzado su etapa es se procederán a cosechar los cuales se tomaron registros de la cantidad que estos aparecían en cada bolsa se cortaron los hongos de la bolsa estos se dividieron en tamaño chico de 1 a 4 cm. Mediano 4 a 8 cm y grandes de 8 a 15 cm una vez divididos se pasó a pesar en una báscula y tomar datos correspondientes de su peso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Figura 1. Proceso de siembra de hongo *Pleurotus djamor*: a) Llenado del sustrato en la bolsa de plástico, b) Picado de bolsa con el inóculo del hongo, c) Etiquetado de bolsa del hongo (Alarcón Acosta 2019).



Figura 2. Unidad productiva de hongo ***Pleurotus djamor***, en el ITUG: a) área de incubación, b) Riego de las bolsas con el inóculo del hongo, c) fructificación del hongo (Jiménez Flores 2019).

Los tratamientos (T1) rastrojo de maíz y cebada (T2) rastrojo de olote y cebada (T3) rastrojo de frijol y cebada (T4) rastrojo de frijol y rastrojo de maíz donde fue necesario el uso del programa ANOVA en SAS version10.1.

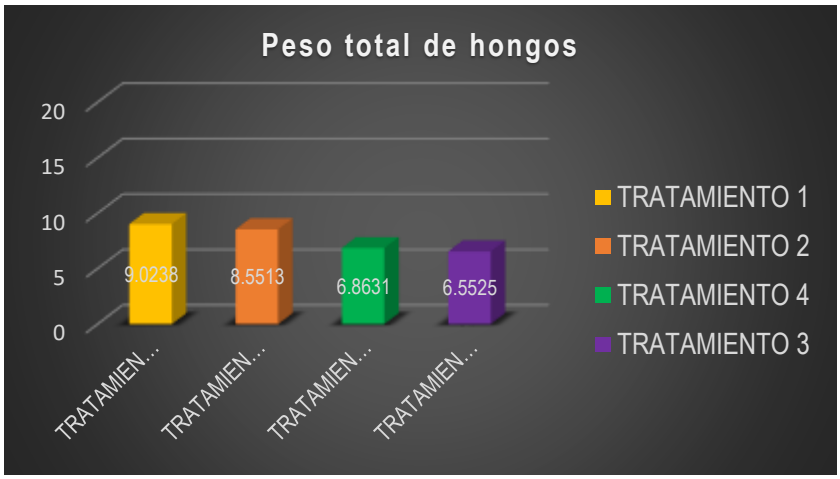


Figura 6 Variable Rendimiento del hongo ***Pleurotus djamor***, (Alarcón Acosta 2019)..

CONCLUSIONES

El tratamiento 1 (T1) que es la mezcla de rastrojo de maíz y paja de cebada mostró diferencias importantes en el crecimiento de micelio y producción de cuerpos fructíferos de *Pleurotus djamor* teniendo un promedio de 9.0238, mientras que la mezcla de frijol y cebada (T3) con un promedio de 6.5525 el cual resulta ser el menos eficiente en cuanto el rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Rodríguez, S., Fernández, M., Bermúdez, R., et al. (2013) Tratamiento de efluentes industriales coloreados con Pleurotus Djamor Rev Iberoam Micol. 20: 164-168.

García, A., Torres, R. (2013) Producción de enzimas lignolíticas por Basidomycetes mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido. Revista colombiana de biotecnología. 4 (1): 56-64.

Sanchez, A., et al. (2012) Biodegradation of Viticulture Wastes by

Pleurotus: A Source of Microbial and Human Food and Its Potential Use in Animal Feeding. Journ of Agricul and Food Chem.50, 2537-2542

Martínez-Carrera, D., D. Nava, M. Sobal, M. Bonilla y Y. Mayett. 2015. Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico. Micol. Apl. Int. 17: 9-20.

Martínez-Carrera, D., M. Sobal, P. Morales, W.Martínez, M. Martínez y Y. Mayett. 2004. Los Hongos Comestibles: Propiedades Nutricionales, Medicinales, y

su Contribución a la Alimentación Mexicana. COLPOS-BUAP-UPAEP-

MINAP, Puebla. 44 pp

Murrieta Hernández, D., L. Iglesias Andreu y G. Mata. 2015. Caracterización bioquímica de seis cepas de Pleurotus. Rev. Mex. Mic. 21: 71-76.

Ancona, L., S. Medina y G. Cetz. 2005. Preferencia en el consumo de Pleurotus djamor en Baca, Yucatán, México.Rev. Mex. Mic. 20: 39-44.

Guzman, G. 2010. Genus Pleurotus (Jacq.:Fr.) P. Kumm. (Agaricomycetideae): Diversity, Taxonomic Problems, and Cultural and Traditional Medicinal Uses. Int J of Med Mushrooms. Vol. 2(2) :95-123

Gunde-Cimerman, N., and Plemenitas, A. 2011. Hyporcholesterolemic Activity of the Genus Pleurotus (Fr.) Karst. (Agaricales s.l., Basidiomycetes). Perspectives of Medicinal Mushrooms in Healthcare and Nutrition in the 21st Century. 12-14 Septemeber Kiev, Ukraine. Abstract in International Journal of Medicinal Mushrooms 3(2-3). Pg. 91.

Gaitán-Hernández, R., D. Salmones, R. Pérez-Merlo y G. Mata. 2012.Manual Práctico del Cultivo de Setas: Aislamiento, Siembra y Producción Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México. 56 pp

Martínez-Carrera, D., M. Sobal, P. Morales, W. Martínez, M. Martínez y Y. Mayett. 2014. Los Hongos Comestibles: Propiedades Nutricionales, Medicinales, y su Contribución a la Alimentación Mexicana COLPOS-BUAP-UPAEP-IMINAP, Puebla. 44 pp

Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y W. Martínez. 2006.México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. In El cultivo de
Pleurotus en México. ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS, México, D.F.

Dharmarai, K., R. Kubera, R. Mahalakshmi, 2014. Comparison of nutrient contents and antimicrobial properties of Pleurotus djamor, Agaricus bisporus and Ganoderma tsugae International Journal Current of Microbiology and Applied Sciences 3(6): 518-526.

MEJORAMIENTO GENÉTICO (Semillas)

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ASOCIACIÓN DE CARACTERES DE CALIDAD FISIOLÓGICA EN EL ALMACENAMIENTO DE CEREALES

Rocío Edelmira Hernández-Caldera[1], Luis Octavio Rubio[2], Miguel Ángel Ávila-Perches[1], Alfredo Josué Gámez-Vázquez[1], Mirna Bobadilla Melendez[1], Griselda Yunuen Rodríguez de Velazco[2]

[1]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Bajío. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. C. P. 381105, Celaya, Guanajuato, México; [2]Universidad Tecnológica de San Miguel de Allende. Camino a San Julián No. 8 Colonia, Casco de Landeta, C.P. 37700, San Miguel de Allende, Guanajuato, México; Autor de correspondencia: avila.miguel@inifap.gob.mx.

RESUMEN

El proceso de producción de semilla es costoso, por los insumos, mano de obra y certificaciones, entre otros conceptos que se requieren para que el producto sea de calidad; por lo que el almacenamiento desempeña un papel esencial para conservar el vigor y germinación de la semilla. El objetivo de este trabajo fue evaluar el material con que se construyen los envases para el almacenamiento de La semilla de maíz y trigo con la finalidad de identificar aquellos que mejor conservan la calidad fisiológica de la semilla, así como determinar la correlación entre las variables de calidad. El trabajo se realizó en el laboratorio de semillas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato. Los factores de estudio evaluados fueron: a) dos variedades (V): Luminaria de trigo, producida en el ciclo otoño-invierno 2024-2025 y de maíz V-322, producida en el ciclo primavera-verano 2024; y b) cuatro tipos de envases (E): 1) costal de tres capas de papel y una de plástico (CPP), 2) lata de aluminio (LA), 3) costal de polipropileno (CP) y 4) frasco de vidrio hermético (FV); se sometieron a una temperatura de 35 °C durante 50 días. Se utilizó un diseño experimental generalizado con arreglo bifactorial con cuatro repeticiones. Se realizaron análisis de componentes principales para identificar la asociación entre caracteres de calidad fisiológica de semilla de maíz y trigo. Las variables evaluadas fueron: emergencia de radícula mayor a un milímetro a las 48 hrs (R), emergencia de plúmula a los 96 hrs (P), germinación estándar (GE) y longitud de plúmula (LP), de radícula (LR), peso seco de plúmula (PSP) y peso seco de radícula (PSR). Las variables de mayor importancia fueron la LP y R; y las variables más correlacionadas fueron LP, con interdependencia negativa con PSR; PSP con GE, relacionadas positivamente y P con LR negativamente. El mejor envase para almacenar maíz es el costal de tres capas de papel y una de plástico, envase utilizado para la venta de semilla en el INIFAP; y para trigo la lata de aluminio.

Palabras clave: germinación, vigor, componentes principales, maíz, trigo

ABSTRACT

The seed production process is costly due to inputs, labor, and certifications, among other factors required to ensure product quality. Therefore, storage plays a crucial role in preserving seed vigor and germination. The objective of this study was to evaluate the materials used to construct containers for storing corn and wheat seeds in order to identify those that best preserve the physiological quality of the seed, as well as to determine the correlation between quality variables. The work was carried out in the seed laboratory of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), located in Celaya, Guanajuato. The study factors evaluated were: a) two varieties (V): Luminaria wheat, produced in the fall-winter cycle 2024-2025 and V-322 corn, produced in the spring-summer cycle 2024; and b) four types of containers (E): 1) three-layer paper and one-layer plastic sack (CPP), 2) aluminum can (LA), 3) polypropylene sack (CP) and 4) airtight glass jar (FV); they were subjected to a temperature of 35 °C for 50 days. A generalized experimental design with a two-factor arrangement and four replicates was used. Principal component analyses were performed to identify the association between physiological quality traits of maize and wheat seed. The variables evaluated were: radicle emergence greater than one millimeter at 48 hours (R), plumule emergence at 96 hours (P), standard germination (EG), and plumule length (PL), radicle length (RL), plumule dry weight (PDW), and radicle dry weight (RDW). The most important variables were PL and R; and the most correlated variables were PL, with a negative interdependence with RDW; PDW with EG, positively related; and P with RDW, negatively related. The best container for storing corn is the three-layer paper and one-layer plastic sack, the container used for selling seed at INIFAP; and for wheat, the aluminum can.

Keywords: *germination, vigor, principal components, maize, wheat*

INTRODUCCIÓN

La producción a nivel nacional del grano de maíz fue de 7, 068, 915 ha y 312, 460 ha de trigo (SIAP, 2025), por lo que son los cereales de mayor importancia para la alimentación en México. La semilla con calidad, es un insumo necesario para la producción de cualquier cultivo; ya que debe llevar el mayor potencial genético que con calidad dará lugar a un desarrollo vigoroso en campo; sin embargo, la semilla requiere de muchos factores intrínsecos, además de los ambientales; entre los aspectos inherentes a la semilla están su calidad fisiológica, que es de gran importancia; principalmente las características de vigor y germinación, relacionadas con el establecimiento en campo. Sin embargo, la semilla tiene que almacenarse por periodos cortos o prolongados, como reservas para programas de mejoramiento y semilla lista para su comercialización. Su forma de almacenamiento dependerá de si son semillas ortodoxas o recalcitrantes; sin embargo, para conservar su viabilidad los factores más importantes a considerar son la temperatura, humedad relativa del ambiente donde se almacena y el contenido de humedad de la semilla (Dadlani *et al*., 2023). La semilla es un ente vivo, que requiere se conservada bajo condiciones favorables, por lo que, con la finalidad de mantener su mejor calidad,

se debe seleccionar un tipo de envase adecuado, especialmente en relación con la germinación, vigor y salud de la semilla. Una de las técnicas que permiten predecir, identificar y asociar variables son los análisis multivariados, el análisis de componentes principales es un método de combinaciones lineales de las variables originales que expliquen al máximo la variabilidad de todos los caracteres evaluados (Lattin et al., 2011|), son métodos útiles para estudiar relaciones entre variables además de ayudar a determinar el comportamiento de genotipos a través de diferentes ambientes (Ali et al 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes tipos de envases para el almacenamiento de maíz y trigo e identificar aquellos que conserven mejor el vigor y la germinación, así como cuantificar la correlación entre las diferentes variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato. Los factores de estudio evaluados fueron: a) dos variedades (V): luminaria de trigo, producida en el ciclo otoño – invierno 2024-2025 y de maíz V-322, producida en el ciclo primavera - verano 2024; y b) cuatro tipos de envases (E): 1) costal de tres capas de papel y una de plástico (CPP), 2) lata de aluminio (LA), 3) costal de polipropileno (CP) y 4) frasco de vidrio hermético (FV). Cada tratamiento se sometió a una temperatura de 35 °C durante 50 días en una incubadora. Se utilizó un diseño experimental generalizado con arreglo bifactorial, los factores de estudio fueron V y E para almacenar semilla. Se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas cada una. Se realizaron análisis de componentes principales para determinación la asociación entre caracteres de calidad fisiológica de semilla de maíz y trigo, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS, 2011). Las variables evaluadas fueron: emergencia de radícula mayor a un milímetro a las 48 hrs (R, %), emergencia de plúmula a los 96 hrs (P, cm), germinación estándar (GE, %) y longitud de plúmula (LP, cm), de radícula (LR, cm), peso seco de plúmula (PSP, mg) y peso seco de radícula (PSR, mg). En total se emplearon 500 semillas de cada genotipo; 100 se colocaron en cada uno de los envases y se sellaron con cinta plástica adherible; con las 100 semillas restantes se realizó una evaluación de germinación estándar inicial. Enseguida los envases se colocaron en incubadora a una temperatura de 35 ± 1 °C y una humedad relativa de 100 % por 50 días. Después del tratamiento, se extrajeron las muestras de semilla de cada tipo de envase y se realizó la siembra de los genotipos en el método entre papel, conocidos como rollos o “tacos”, estos se colocaron en una cámara de germinación, a una temperatura de 23 ± 1 °C; para evaluar el vigor y germinación de las semillas; al segundo día se evaluó cuidadosamente, evitando daños de raíces, al desenrollar los tacos y sobre el papel se contó el número de semillas que presentaban una longitud de radícula mayor a 1mm (R); posteriormente volvieron a enrollar los tacos que se colocaron nuevamente en la cámara germinadora. Al cuarto día (96 h) se procedió a contabilizar la semilla que presentaba plúmula (P); a los siete días, se evaluó la germinación estándar (GE), de acuerdo a las recomendaciones de la ISTA (2005); al considerar las plántulas normales con base en aquellas

que tenían raíz, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones; R, P y GE se expresaron en porcentaje. La LP y LR se midió en centímetros con una regla de la parte media del grano; en el caso de PSP y PSR se procedió a separar del resto del grano la radícula y plúmula de las plántulas normales, se colocaron por separado en bolsas Kraft (15x10 cm) perforadas, que se sometieron a una temperatura de 70 °C por 72 h, finalmente se pesaron en miligramos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de componentes principales (Cuadro 1), se observó que la CP1 explica el 63 % y el CP2 el 21 % de la variabilidad total de los datos originales; por lo que en conjunto explican el 84% de la variabilidad total medida de las variables. Con base en el valor absoluto de los vectores propios se determinó la importancia de las variables dentro de cada componente; la longitud de plúmula (-0.452075), fue la variable con mayor ponderación en el componente 1 y en el componente 2 el porcentaje de semillas con una longitud de radícula (R) mayor de 1 mm evaluada a las 48 h (0.718552) después de la siembra, variables no correlacionadas.

Dentro del componentes 1 las variables con mayor interdependencia fueron longitud de plúmula negativamente con peso seco de radícula (0.438804); y peso seco de plúmula (0.412892) con germinación estándar (0.416335); y semillas con plúmula evaluada a las 96 h (0.339969) con longitud de radícula, pero negativamente (-0.34776). El porcentaje de semillas con una longitud de radícula (R) mayor de 1 mm evaluada a las 48 h (0.718552) después de la siembra no mostro interdependencia con el resto de las variables (Tabla 1).

Cuadro 1. Análisis de componentes principales de las variables de germinación y vigor de cereales.

Variable	CP1	CP2
Semillas con Radícula (R)	0.150829	0.718552
Semillas con Plúmula (P)	0.339969	0.342024
Longitud Plúmula (LP)	-0.452075	0.233416
Longitud Radícula (LR)	-0.34776	-0.05542
Peso Seco Plúmula (PSP)	0.412892	-0.378716
Peso Seco Radícula (PSR)	0.438804	-0.257908
Germinación Estándar (GE)	0.416335	0.31497
Valor propio	4.42	1.46
% de varianza acumulada	63	84
Nombre del componente	Longitud de plúmula	Radícula

En la Figura 1, se presenta el plano cartesiano conformado por el CCP1 y CP2, donde se observa que los envases presentaron diferente comportamiento en los cultivos de maíz y trigo; sin embargo, se puede observar que existe una diferenciación entre estos dos cultivos. En el cuadrante I se puede observar que cultivo de maíz presentó el mejor comportamiento almacenado cuando se conservó en el costal de 3 capas de papel y una de plástico, ya que presentó la mayor expresión de peso seco de radícula y con menor longitud de plúmula, seguido por el envase de la lata de aluminio; sin embargo, este genotipo en los envases de costal de polipropileno y frasco de vidrio presentaron valores inferiores en estas variables. En comparación con el trigo se puede observar que este genotipo presentó un mejor comportamiento en longitud de plúmula y menor peso seco de radícula, pero mayor número de semillas con radícula a las 48 h después de ser conservada la semilla en los envases de aluminio y polipropileno. En trigo la lata de aluminio permitió una mayor numero de semillas con longitud de radícula mayor a 1 mm, variable considerada como la de mayor importancia en el componente 2. Por lo que se puede considerar el mejor envase para almacenar maíz es el costal de tres capas de papel y una de plástico; ya que sobresalió en la expresión de peso seco de radícula y para trigo la lata de aluminio por la longitud de radícula mayor a un milímetro a los 48 h.

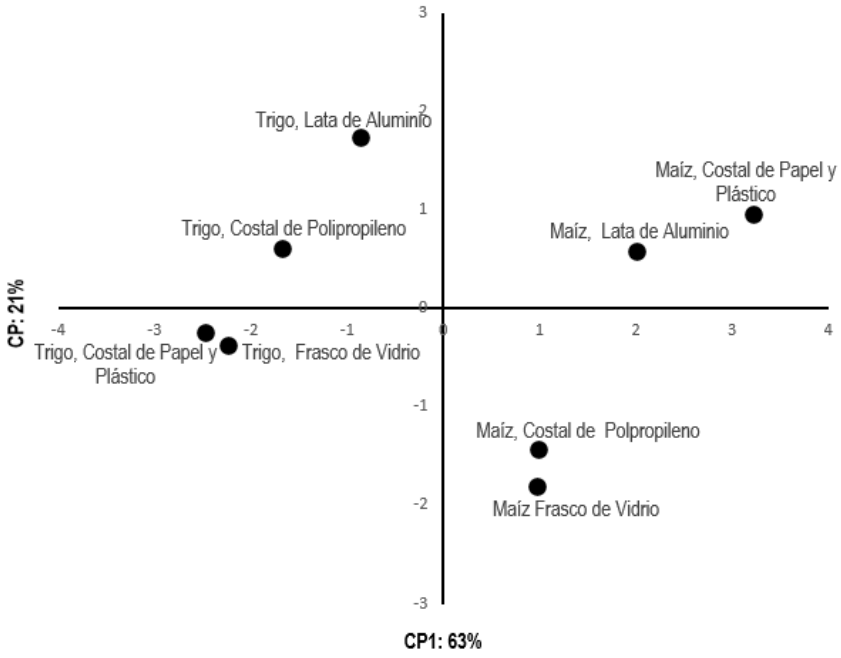


Figura 1. Análisis de componentes principales entre envases (ambientes) y genotipos de cereales.

CONCLUSIONES

Las variables de mayor importancia fueron la longitud de plúmula y la longitud de radícula mayor a 1 mm evaluadas a las 48 h; y las variables más correlacionadas fueron longitud de plúmula que presentó interdependencia negativamente con el peso seco de radícula; el peso seco de plúmula con interdependencia

positiva con germinación estándar y semillas con plúmula evaluada a las 96 h con longitud de radícula, variables que se relacionaron negativamente.

El mejor envase para almacenar maíz es el costal de tres capas de papel y una de plástico, envase utilizado para la venta de semilla en el INIFAP; y para trigo la lata de aluminio. Ambos son una buena opción para el almacenamiento de semilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, F., Kanwal N., Ahsan M., Ali Q., Bibi I., Niazi N.K. (2015). Multivariate analysis of grain yield and its attributing traits in different maize hybrids grown under heat and drought stress. Scientifica. 563869 https://doi.org/10.1155/2015/563869.

Dadlani M., Gupta, A., Sinha, S.N., Kavali, R. (2023). Seed Storage and Packaging. In: Dadlani, M., Yadava, D.K. (eds) Seed Science and Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_1 239-266 pp

ISTA, (2015) International Rules for Seed Testing, Vol. 215, Introduction, i-1-6 (10). The International Seed Testing Asociación, Bassersdorf.

Lattin J., Carroll J.D., Green, P.E. (2011). Análise de dados multivariados. São Paulo: Cengage Learning,. 475p.

SAS, Institute, Statistical Analysis System (2011) SAS/STAT@9.3 User´s Guide. Software Release V 9.3. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA.

SIAP, (2025). Producción agrícola. https://nube.agricutura.gob.mx/agroprograma

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE CEBADA Y TRIGO, ALMACENADAS EN DIFERENTES ENVASES

Mirna Bobadilla Meléndez[1§], Rocío E. Hernández Caldera[1], Miguel A. Avila Perches[1], Alfredo Josué Gámez Vázquez[1], Juan Pablo Rivera Moreno[2] y Luis Octavio Rubio Sánchez[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende Km 6.5, Celaya, Gto, CP 38110. [2]Universidad Tecnológica de San Miguel de Allende. Camino a San Julián No. 8, Casco de Landeta, San Miguel de Allende, Gto. CP 37700. [§]Autor de correspondencia: bobadilla.mirna@inifap.gob.mx

RESUMEN

El envase juega un papel esencial en la conservación de la calidad de semilla, al protegerla contra daños físicos y ambientales. El objetivo del presente, fue evaluar el efecto de cuatro tipos de envase sobre la germinación y el vigor de semillas de cebada y trigo almacenada a 35 ºC y 80 % de humedad relativa, por un periodo de 50 días. Se colocaron 600 semillas en cada envase (bolsa de polipropileno, bolsa de papel multicapa, frascos herméticos de vidrio y botes herméticos de lámina.). Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en una cámara a ± 23 ºC por siete días. Las variables evaluadas fueron emergencia de radícula (ER), emergencia de plúmula (EP), germinación estándar (GE), longitud de radícula (LR), longitud de plúmula (LP), peso seco de radícula (PSR) y peso seco de plúmula (PSP). El análisis estadístico se efectuó mediante un diseño completamente al azar bifactorial (genotipos y envases) y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Además, se realizó un análisis de componentes principales. El análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), los envases influyeron significativamente en la LP, PSP ($P \leq 0.01$) y con $P \leq 0.05$ en ER y GE. La semilla de cebada conservó mayor calidad fisiológica en comparación con el trigo. Los envases herméticos: frasco de vidrio y lata de aluminio, aceleraron el deterioro de la semilla. La bolsa de polipropileno y bolsa de papel conservaron mejor la calidad de semilla.

Palabras clave: *Hordeum vulgare L., Triticum aestivum L., componentes principales, almacenamiento.*

ABSTRACT

Container plays an essential role in preserving seed quality by protecting it from physical and environmental damage. The objective of this study was to evaluate the effect of four types of containers on the germination and vigor of barley and wheat seeds stored at 35°C and 80% relative humidity for 50 days. Six hundred seeds were placed in each type of container (polypropylene bag, multi-layer paper bag, airtight glass jars, and airtight foil containers). Germination tests were conducted in a chamber at approximately 23°C for seven days. The variables evaluated were radicle emergence (RE), plumule emergence (PE), standard germination (EG), radicle

length (RL), plumule length (PL), radicle dry weight (RDW), and plumule dry weight (RDW). Statistical analysis was performed using a two-way completely randomized design (genotypes and container) and Tukey's test for mean comparisons ($p \leq 0.05$). A principal component analysis was also conducted. Analysis of variance revealed significant differences between genotypes ($P \leq 0.01$). Container significantly influenced germination potential (GP) and seed yield (SY) ($P \leq 0.01$), and germination rate (GR) and germination efficiency (GE) ($P \leq 0.05$). Barley seed maintained higher physiological quality compared to wheat. Airtight container (glass jars and aluminum cans) accelerated seed deterioration. Polypropylene bags and paper bags better preserved seed quality.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L., *main components, storage*

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de cereales de grano pequeño como la cebada y el trigo se desarrolla tanto en condiciones de temporal, en los Valles Altos en el ciclo agrícola primavera-verano; como en riego, en el ciclo otoño-invierno en la región del Bajío y Noroeste del país. La producción de ambos granos se destina principalmente para la industria alimentaria, en el caso de la ceba para la producción de malta y el trigo para la elaboración de harina y sémola (González *et al*., 2021; Villaseñor *et al*., 2021). Con la finalidad de cubrir la demanda de grano, en 2024 se destinaron 301, 729 ha para la producción de cebada y 492, 403 ha para trigo. Los principales estados productores de ambos cultivos en condiciones de temporal son Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca y México, con un rendimiento promedio aproximado de 2 t ha^{-1}; mientras que, para riego son Guanajuato, Michoacán, Chihuahua y Sonora, donde se siembran en otoño – invierno, con rendimientos promedio de 6 t ha^{-1} (SIAP, 2026).

La producción de semilla certificada para abastecer la demanda en el país es escasa, parte del grano que se produce se destina como semilla, en algunos casos este grano carece de los componentes de calidad, a) Genética, como son la pureza varietal; b) Física: peso y tamaño de la semilla uniforme; c) Fisiológica: vigor y germinación y d) Sanitaria: libre de patógenos. Una semilla con alta viabilidad y vigor garantiza una emergencia uniforme, plántulas fuertes y un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, agua y nutrientes que se encuentran en el suelo; lo que se traduce en un sistema productivo eficiente. El vigor determina la capacidad de las semillas para mantenerse viables en el tiempo y obtener adecuadas densidades de población (Doria, 2010).

Durante el proceso de almacenamiento, las semillas se encuentran expuestas a diversos factores que influyen negativamente en su calidad fisiológica, entre los que destacan la temperatura, humedad relativa, tiempo de conservación y tipo de envase utilizado a lo largo del almacenamiento. Cuando estos factores no son controlados adecuadamente, se acelera el proceso de deterioro, lo que disminuye la capacidad germinativa y el vigor, que afectan directamente el establecimiento de los cultivos (Doria, 2010; Muñoz-Gutiérrez *et al*., 2022) lo que genera pérdidas económicas para los productores.

El envase para el almacenamiento de semilla, constituye un componente fundamental en el sistema de producción, manejo y comercialización de semillas, debido a que su función principal es preservar la integridad genética, física, fisiológica y fitosanitaria desde su procesamiento hasta la siembra. Asimismo, un envase adecuado contribuye a mantener la calidad del lote al prevenir daños mecánicos, contaminación y alteraciones ocasionadas por factores abióticos (Muñoz-Gutiérrez *et al*., 2022). Además, el envase desempeña diversas funciones, entre las que destacan la protección física, al resguardar la semilla de golpes, compresión y fricción durante el transporte y almacenamiento; la protección ambiental, al reducir la exposición a la humedad, temperatura y luz; así como a la identificación y trazabilidad en su manejo, al contener información relevante sobre el origen, las características y el tratamiento de la semilla (ISTA, 2024).

Existen diversos tipos de envases utilizados por la industria semillera. Entre los más comunes se encuentran los sacos de papel multicapa, que permiten una adecuada transpiración y se utilizan principalmente para semillas certificadas; y los envases herméticos, como bolsas plásticas especializadas, silos portátiles, recipientes de vidrío o plástico, cuyo nivel de hermeticidad limitan el intercambio de gases y humedad, lo que favorece la conservación de la semilla bajo condiciones controladas. En este contexto, las características del envase deben cumplir con ciertos requerimientos para garantizar la conservación de la calidad de la semilla. Este debe ser resistente a la manipulación y al transporte, permitir un grado adecuado de ventilación en sistemas convencionales para evitar la acumulación de humedad y, en algunos casos, ofrecer condiciones herméticas que prolonguen la vida útil del producto. Asimismo, el material del envase debe ser inerte; es decir, no debe reaccionar con los tratamientos químicos aplicados a la semilla (Doria, 2010; Mendoza *et al*., 2016). Existe poca información sobre el efecto del envase en el almacenamiento de semillas de grano pequeño, es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto mediante pruebas de laboratorio, del tipo de envase sobre la germinación y el vigor de semillas de cebada y trigo en condiciones ambientales de almacenamiento a 35 ºC y 80 % de humedad relativa por un periodo de 50 días; mediante pruebas de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Calidad fisiológica de la semilla. Las pruebas fisiológicas se llevaron a cabo en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío (CEBAJ), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Celaya, Guanajuato, ubicado a 20°34'40" Latitud Norte, 100°49'37" Longitud Oeste y 1,765 metros de altitud.

En envases de almacenamiento se colocaron 600 semillas de cebada de la variedad Alina, material de seis hileras de grano, producida en el ciclo agrícola O-I 2023/2024 y semilla de trigo variedad Luminaria, obtenida en el ciclo agrícola O-I 20024/2025. Los envases utilizados fueron: 1) bolsa de polipropileno (15x15 cm); 2) bolsa de papel, con 5 capas, 4 de papel y una de plástico intermedia (15 x 15 cm); 3) frascos herméticos de vidrio con tapa rosca (500 ml) y 4) bote hermético de lámina (500 ml). Después de colocar las semillas en cada uno de los envases se procedió a sellar herméticamente cada uno, para el frasco de vidrio y el bote de lata se colocó cinta plástica adhesiva alrededor de la tapa, para evitar la entrada de oxígeno y humedad. En las bolsas de papel y polipropileno se realizó un doblez en la parte superior y se engraparon. Los envases se colocaron en una cámara de crecimiento a 35 ± 1 °C con 80 % de humedad relativa por 50 días. Trascurrido el tiempo de almacenamiento se llevó a cabo la siembra de 200 semillas por el método entre papel, que consiste en extender dos hojas de papel para germinación (21x35 cm), humedecido con agua destilada (cantidad equivalente a tres veces el peso del papel seco) sobre una superficie plana, en las cuales se colocaron 50 semillas por repetición, con los embriones orientados hacia la parte inferior, distribuidas en diez columnas y cinco filas; posteriormente, las semillas se cubrieron con dos hojas de papel, y se enrollaran en forma de “taco”; los rollos previamente identificados se depositaron en forma vertical en una bolsa de plástico y se colocaron en una cámara de germinación, a 23± 2 °C. (ISTA, 2024)

Variables evaluadas

Emergencia de radícula (ER): que se evaluó a las 48 h, al cuantificar las semillas que presentaron una radícula mayor a 1 mm. Emergencia de plúmula (EP): a las 96 h, al registrar el número de semillas que presentaban una plúmula mayor a 1 mm. Germinación estándar (GE): de acuerdo a las recomendaciones de la ISTA (2024) excepto por el número de semillas a evaluar; a los siete días se cuantificaron las plántulas normales con base en aquellas que tenían radícula, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Para el conteo de semillas anormales: se consideraron las semillas que solo presentaron plúmula o radícula y las que mostraron deformaciones en las mismas. Se consideraron semillas muertas aquellas que no presentaron radícula y plúmula (no germinaron). Longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP): a los siete días, con una regla, se midió en cm, en diez plántulas normales, desde la parte media del grano donde emerge la radícula y plúmula, hasta la punta de la misma. Peso seco de radícula (PSR) y peso seco de plúmula (PSP): a diez plántulas se les separó la plúmula y radícula del resto de grano, se colocaron por separado en bolsas de papel

kraft (15x10 cm) perforadas, las cuales se acomodaron en un horno de secado a 60 °C por 72 h. Después se pesaron en una balanza analítica (mg), por separado.

Análisis estadístico

Con la finalidad de identificar diferencias entre los factores de estudio se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con base en un diseño completamente al azar bifactorial (genotipos y envases). La prueba de comparación de medias fue por la metodología de Tukey ($P \leq 0.05$). Con la finalidad de explorar la variación existente e identificar los variables de mayor impacto, se realizaron análisis de componentes principales. Los datos se procesaron con el Software SAS ® ver 9.4 (2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas, entre los genotipos, con $P \leq 0.01$, en todas las variables evaluadas, excepto en el peso seco de radícula (PSR). Los envases mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) en longitud de plúmula (LP) y peso seco de plántula (PSP), y diferencias con $P \leq 0.05$ en emergencia de radícula (ER) y germinación estándar (GE), el resto de las variables no mostraron diferencias estadísticas. En la interacción genotipos por envases, solo la variable ER presentó diferencias ($P \leq 0.01$), mientras que las variables emergencia de plúmula (EP), LP y GE mostraron diferencias con $P \leq 0.05$. El análisis refleja que los envases no mostraron un efecto negativo en los componentes de calidad fisiológica como se esperaba, esto se puede atribuir a que el tiempo de almacenamiento fue corto, en estudios realizados con semillas de *Tithonia diversifolia* almacenadas en cuatro tipos diferentes de envases no se encontró efectos significativos a los 60 días (Rodríguez *et al*., 2021).

Cuadro 1. Cuadrados medios del diseño experimental completamente al azar en los componentes de calidad fisiológica de semilla de trigo y cebada.

FV	Gl	ER		EP		LP		LR		PSP		PSR	GE	
Genotipos(G)	1	7320.5	**	12090.1	**	50.0	**	75.0	**	603.8	**	3.8	5886	**
Envases(E)	3	129.5	*	97.1		3.4	**	2.6		395.9	**	111.3	117.8	*
G*E	3	316.833	**	180.79	*	2.4	*	2.6		23.5		30.0	126.5	*
Error		33.8		39.5		0.69		1.6		68.4		39.3	30.4	
C. V. (%)		9.5		9.9		4.8		9.6		7.2		7.1	8.1	

FV= Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$), ** = Diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), ns = No existe diferencia significativa estadística ($P \geq 0.05$), CV (%) = Coeficiente de variación; ER= emergencia de radícula; EP= emergencia de plúmula; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; GE= Germinación estándar.

Pruebas de medias

La prueba de medias para genotipos (Cuadro 2) muestra que la cebada tiene una mejor respuesta en las variables ER, EP, LP, PSR y GE; mientras que trigo predominó solo en las variables LR y PSP. La semilla de

cebada mantuvo sus características de germinación y vigor, este comportamiento coincide con lo reportado por Castañeda-Saucedo *et al.* (2009) al comparar la calidad fisiológica de la semilla de cebada y trigo producidas en campo e invernadero, mencionan que la cebada presenta mayor resistencia a condiciones de estrés térmico. Los bajos porcentajes de germinación en trigo se debe a que presentó el mayor número de semillas muertas (37.9 %, datos no presentados). La cebada mostró un mejor vigor inicial al obtener 76.3 % de exposición de radícula a las 48 h y 83.1 % de exposición de plúmula a las 96 h. El trigo mostró mayor longitud de radícula (14.8 cm) y peso seco de plántula (119.3 mg) características que favorecen el vigor de las plántulas, sin embargo, mostró menor germinación (54.4 %). La semilla de cebada fue producida en el ciclo otoño-invierno 2023/2024 unos meses antes que el trigo, por lo que probablemente las condiciones de alta humedad relativa durante el almacenamiento estimularon la actividad metabólica del embrión lo que provocó una mayor germinación, este efecto coincide con lo reportado por Suma *et al*. (2013), en estudios realizados con semilla de *Brassica* rapa. y *B. juncea*, donde las semillas presentaron una viabilidad inusualmente mejor al incrementar la humedad relativa durante el almacenamiento por periodos cortos.

Cuadro 2. Prueba de medias de los componentes de calidad fisiológica en semilla obtenidos en semilla de trigo y cebada. Celaya, Guanajuato.

Genotipos	ER (%)		EP (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
Cebada	76.3	a	83.1	a	18.7	a	11.7	B	110.6	b	88.3	a	81.5	a
Trigo	46	b	44.3	b	16.2	b	14.8	A	119.3	a	87.6	a	54.4	b

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, ER=Emergencia de radícula; EP=Emergencia de plúmula; LP=Longitud de radícula; LP=Longitud de plúmula; PSP=Pesos seco de plúmula; PSR=Peso seco de radícula; GE=Germinación estándar.

En cuanto a los envases (Cuadro 3) la bolsa de polipropileno afectó en menor medida la calidad de los genotipos, seguido de la bolsa de papel, esto es debido probablemente al ligero intercambio de oxígeno que existe en estos envases que evitò el rápido deterioro de la semilla.

El frasco de vidrio aceleró el daño en la semilla bajo condiciones de 35 °C y 80 % de humedad relativa, al reflejar los valores más bajos en los componentes de vigor y germinación (ER, EP, PSP y GE), seguido por el bote de lámina que limitó el desarrollo de la radícula (LR) y por consiguiente el peso de la misma (PSR). El mayor número de semillas muertas se registró en el envase de vidrio (31 %, datos no presentados). Los envases herméticos son una buena opción de almacenamiento de semilla en condiciones de refrigeración, debido a que la respiración de la semilla se ve limitada por el bajo intercambio de oxígeno que existe en los envases herméticos, la cual incrementa con temperaturas altas (Muñoz-Gutiérrez *et al*., 2022)

Cuadro 3. Prueba de medias de los componentes de calidad fisiológica en semilla de trigo y cebada, almacenadas en cuatro tipos de envases. Celaya, Guanajuato.

Envases	ER (%)		EP (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
Bolsa papel	63.0	Ab	67.3	a	18.4	a	13.9	A	119.1	A	89.3	a	68.3	ab
Bolsa polipropileno	65.8	A	65.0	a	16.9	b	13.4	A	120.4	A	92.6	a	72.0	a
Frasco vidrio	56.8	B	59.0	a	17.3	ab	13.1	A	104.9	B	85.6	a	62.8	b
Bote lámina	59.0	Ab	63.5	a	17.3	ab	12.5	A	115.3	Ab	84.4	a	68.8	ab

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales , ER=Emergencia de radícula; EP=Emergencia de plúmula; LP=Longitud de radícula; LP=Longitud de plúmula; PSP=Pesos seco de plúmula; PSR=Peso seco de radícula; GE=Germinación estándar.

El análisis de componentes principales indica que las variables EP y GE son las de mayor importancia en el componente principal 1 (CP1), para el componente principal 2 (CP2) es PSR y PSP. El análisis explica el 90.12% de la variación total (Tabla 4). La dispersión de los genotipos con relación a su respuesta a las variables de estudio se puede observar en la Figura 1, donde la semilla de cebada muestra menor afectación en cuanto a su calidad fisiológica después de haber estado 50 días almacenada a 35 °C con 80 % de humedad relativa, al quedar agrupados en los Cuadrantes I y IV, probablemente por tener una mayor rusticidad que el cultivo de trigo. Los envases de bolsa de polipropileno y bolsa de papel, agrupados en los Cuadrantes II y III son los que mejor conservaron las características de vigor y germinación, lo que retrasó el deterioro de la semilla de ambos cultivos.

Tabla 4. Vectores característicos de los componentes principales para la calidad fisiológica de semilla de cebada y trigo. Celaya, Guanajuato.

Variable	**Componentes principales (CP)**	
	CP1	**CP2**
Emergencia de plúmula (EP)	0.4454	0.1360
Germinación estándar (GE)	0.4431	0.1671
Peso seco de radícula (PSR)	0.0228	0.7778
Peso seco de plúmula (PSP)	-0.2670	0.5294
Valor característico	4.81	1.49
Varianza explicada (%)	68.82	21.29

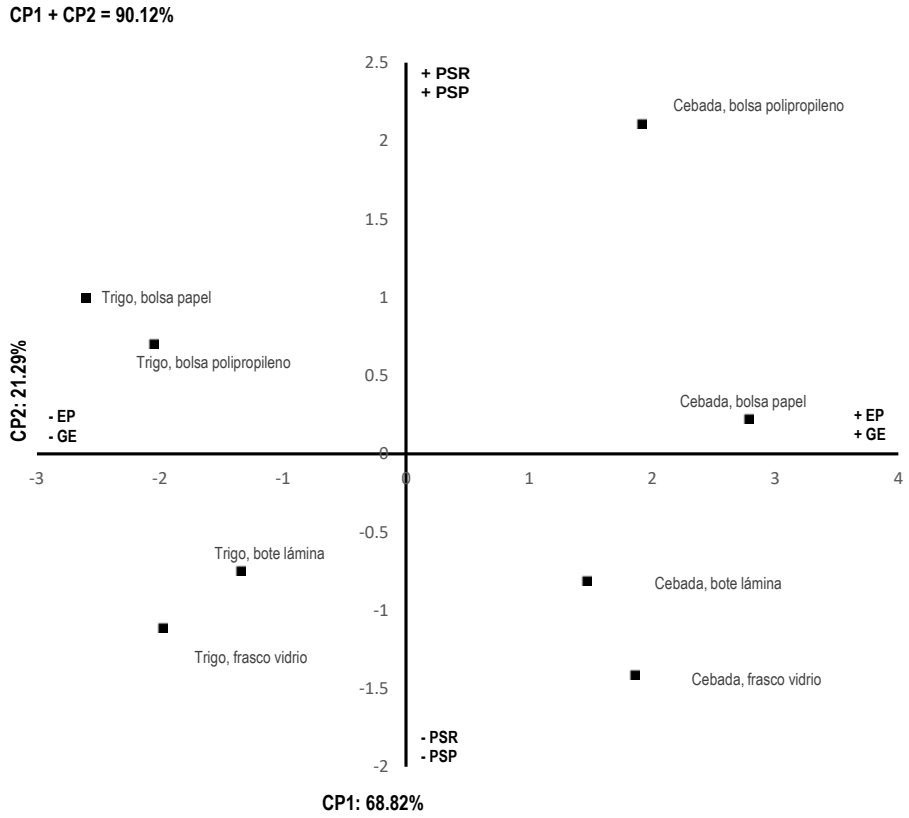


Figura 1. Dispersión de los genotipos de cebada y trigo por su respuesta a diferentes envases de almacenamiento en los componentes de calidad fisiológica de semilla.

CONCLUSIONES

La semilla de cebada mostró mayor resistencia al estrés térmico y humedad relativa alta, durante un periodo corto de almacenamiento, al conservar sus características de calidad fisiológica. El envase de bolsa de polipropileno permitió conservar los atributos de calidad fisiológica de las semillas de cebada y trigo. El envase de vidrio con tapa hermética aceleró el deterioro de la semilla, al presentar el menor porcentaje de germinación y vigor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castañeda-Saucedo M. C., López-Castañeda C., Colinas-De León M. T. B., Molina-Moreno J. C., Hernández-Livera A. 2009. Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. Interciencia. 34(4):286-292.

Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Revisión bibliográfica. Cultivos Tropicales. 31(1):74-85.

González G., M., Zamora Díaz M. R., Solano H. S., Huerta Z. R., Gómez M. R. y Rojas M. I. 2021. Mejoramiento genético de cebada en el INIFAP (1985-2020). Ensayo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación especial no. 25:15-20.

ISTA. International Seed Testing Association. 2024. International rules for seed testing. Richtiarkade 18, CH-8304 Wallisellen, Switzerland.

Mendoza R. C. R., Alfaro D. J. D., Paternina A. C. D. 2016. Manual práctico para gestión logística: envase y embalaje, transporte y cadena de frío, preservación de productos del agro. Editorial Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia. 106 pp.

Muñoz-Gutiérrez L., Ríos-Saucedo J. C., García-García D.A., Hernández-Pérez C. A. 2022. Efecto del almacenamiento sobre la calidad fisiológica de semillas de Prosopis laevigata (H. & B.) Johnst. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2):1-7.

Rodríguez G. I., Padilla C.R., Torres V., Herrera M. y Medina M. Y. 2021. Efecto del tipo de envase y el ambiente de almacenamiento en la germinación de las semillas de Tithonia diversifolia (Hemsl.) Gray. Livestock Research for Rural Development. 33(6).

SAS. Statistical Analysis System. 2025. Software Release V 9.4. SAS/STAT®9.4. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2026. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/. Consultado el 08 de mayo de 2026.

Suma A., Sreenivasan K., Singh A.K., Radhamani J. 2013. Role of relative humidity in processing and storage of seeds and assessment of variability in storage behaviour in *Brassica* spp. and *Eruca sativa*. Scientific World Journal.

Villaseñor M. H. E., Huerta E. J., Solís M. E., Rodríguez G. M. F., Martínez C. E. y Espitia R. E. 2021. Mejoramiento genético en trigo realizado por el INIFAP desde 1985 a 2020. Ensayo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación especial no. 25:27-31.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL ALMACENAMIENTO Y CALIDAD FISIOLÓGICA EN CEREALES

Rocío Edelmira Hernández-Caldera[1]; Diana Noemi Jiménez Pérez[2]; Miguel Ángel Ávila-Perches[1]; Alfredo Josué Gámez-Vázquez[1]; Mirna Bobadilla Melendez[1]; Juan Pablo Rivera Moreno[2]

[1]Campo Experimental Bajío (CEBAJ), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. C. P. 381105, Celaya, Guanajuato, México. [2]Universidad Tecnológica de San Miguel de Allende. Camino a San Julián No. 8 Colonia, Casco de Landeta, C.P. 37700, San Miguel de Allende, Guanajuato, México. Autor de correspondencia: avila.miguel@inifap.gob.mx.

RESUMEN

La producción de cereales es básica para la alimentación, que depende del costoso proceso de producción de semilla, la cual, a su vez, requiere conservar su calidad fisiológica durante su almacenamiento de tal forma que conserve y garantice su viabilidad; por tal motivo, es importante identificar envases que permitan conservar la máxima germinación y vigor, para evitar pérdidas económicas y lograr finalmente un buen establecimiento en campo. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la conservación de la calidad fisiológica de la semilla de cereales al almacenarla en diferentes contenedores, para lo cual, en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío, del INIFAP localizado en Roque, Celaya, Guanajuato. Se evaluaron dos genotipos (G): la variedad Luminaria de trigo producida en el ciclo otoño-invierno 2024-2025 y la variedad de maíz V-322, producida en primavera-verano de 2024; en cuatro tipos de envase (E): a) costal de tres capas de papel y uno de plástico (CPP), b) lata de aluminio (LA), c) costal de polipropileno (CP) y d) frasco de vidrio (FV), todos almacenados a 35 °C durante 50 días. Se utilizo un diseño experimental generalizado bifactorial con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias (Tukey, ≤ 0.05). Las variables evaluadas fueron emergencia de radícula mayor a un milímetro a las 48 hrs (R, %), emergencia de plúmula a los 96 hrs (P, %), germinación estándar (GE, %) y longitud de plúmula (LP, cm), de radícula (LR, cm), peso seco de plúmula (PSP, mg) y radícula (PSR, mg). La variedad de maíz V-322 presentó mayor vigor en comparación de la variedad Luminaria de trigo. Los mejores envases para almacenar semilla fueron CPP y LA; que lograron mantener el mayor vigor y germinación en semillas de maíz y trigo bajo el estrés de temperatura y humedad relativa.

Palabras clave: *maíz, trigo, envases, vigor, germinación.*

ABSTRACT

Cereal production is fundamental to food security, which depends on the costly seed production process. This seed, in turn, requires maintaining its physiological quality during storage to preserve and guarantee its viability.

Therefore, it is important to identify containers that allow for maximum germination and vigor, to avoid economic losses and ultimately achieve good establishment in the field. The present work was carried out with the objective of evaluating the conservation of the physiological quality of cereal seeds when stored in different containers, for which purpose, in the seed laboratory of the Bajío Experimental Field, of INIFAP located in Roque, Celaya, Guanajuato. Two genotypes (G) were evaluated: the Luminaria wheat variety produced in the 2024-2025 fall-winter cycle and the V-322 corn variety, produced in the 2024 spring-summer; in four types of packaging (E): a) three-layer paper and one-layer plastic bag (CPP), b) aluminum can (LA), c) polypropylene bag (CP) and d) glass jar (FV), all stored at 35 °C for 50 days. A generalized two-factor experimental design with four replicates was used. An analysis of variance and a mean comparison test (Tukey, ≤ 0.05) were performed. The variables evaluated were radicle emergence greater than one millimeter at 48 hrs (R, %), plumule emergence at 96 hrs (P, %), standard germination (GE, %) and plumule length (LP, cm), radicle length (LR, cm), plumule dry weight (PSP, mg) and radicle dry weight (PSR, mg). The V-322 corn variety exhibited greater vigor compared to the Luminaria wheat variety. The best containers for seed storage were CPP and LA, which maintained the highest vigor and germination rates in corn and wheat seeds under temperature and relative humidity stress.

Keywords: *corn, wheat, packaging, vigor, germination*

INTRODUCCIÓN

Los cereales son la fuente de alimentos más importante en el mundo para satisfacer las necesidades alimentarias de los humanos y del ganado; son ricos en fibras, proteínas y nutrientes, lo que los hace parte esencial de una alimentación balanceada (SADER, 2016). El trigo es el cereal que más se consume a nivel global, en México supera los 3 millones de toneladas y el 80 % de este grano se destina a la industria del pan. En México el maíz y trigo son los pilares fundamentales de la alimentación, siendo el maíz además un patrimonio cultural e histórico, mientras el trigo el segundo grano más consumido (SIAP, 2023). Ambos cultivos son básicos en la seguridad alimentaria; por lo que reducir las pérdidas postcosecha de semilla se ha convertido en una prioridad para asegurar la producción (Li & Song, 2022). Conservar la calidad fisiológica de la semilla es importante para reducir riesgos en la densidad de población y establecimiento del cultivo en el campo y así evitar reducciones en el potencial productivo del cultivo (Vilela Reis *et al*., 2022); esta calidad depende del manejo y condiciones ambientales durante su crecimiento y desarrollo; así como, del almacenamiento de la semilla a través de envases adecuados y durante un periodo durante el cual se pueden presentar factores bióticos y abióticos que pueden deteriorar la semilla y su calidad. Mantener las características fisiológicas, físicas sanitarias y genéticas de la semilla de estos cereales después de la cosecha, es esencial para garantizar su calidad. La temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad son factores importantes que afectan la calidad del grano durante el almacenamiento (Zaho *et al*., 2024); lo que lleva al crecimiento y reproducción

de insectos, ácaros y hongos, que afectan la calidad; derivado de lo anterior es indispensable evaluar envases que permitan conservar la capacidad de vigor y germinación de la semilla, para proteger las semillas de las altas temperaturas y alta humedad relativa, con la finalidad de evitar su deterioro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se estableció en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío (CEBAJ), del INIFAP localizado en Roque, municipio de Celaya, Guanajuato, ubicada a 20°34'40" Latitud Norte, 100°49'37" Longitud Oeste y con 1,765 metros de altitud. Los factores de estudio evaluados fueron a) dos genotipos (G): la variedad Luminaria de trigo del ciclo otoño – invierno 2024-2025 y la variedad de maíz V-322 del ciclo primavera-verano 2024; y b) los cuatro tipos de envase (E): a) costal de tres capas de papel y una de plástico (CPP); b) lata de aluminio (LA); c) costal de polipropileno (CP) y d) frasco de vidrio hermético (FV; todos, sometidos a una temperatura de 35 °C en una incubadora durante 50 días. Se utilizó un diseño experimental generalizado bifactorial, los factores de estudio fueron G y E para almacenar semilla. Se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas cada una. Se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias ($P \leq 0.01$ o ≤ 0.05) entre E, G y en la interacción E*G; se realizaron pruebas de rango múltiple de medias (Tukey, ≤ 0.05), para determinar cuál es el mejor G y envase para almacenar semilla. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa Statistical Analysis System (SAS, 2011). Las variables evaluadas fueron emergencia de radícula mayor a un milímetro a las 48 hrs (R), emergencia de plúmula a los 96 hrs (P, %), germinación estándar (GE, %) y Longitud de plúmula (LP, cm), de radícula (LR, cm), peso seco de plúmula (PSP, mg) y peso seco de radícula (PSR, mg). Se utilizaron 500 semillas de cada genotipo; de las cuales, 100 se colocaron en cada uno de los envases y se sellaron en la parte superior, con cinta plástica adherible (emplayado); con las 100 semillas restantes se realizó una evaluación de germinación estándar inicial. Enseguida los envases se introdujeron en una incubadora a una temperatura de 35 ± 1°C y una humedad relativa de cercana al 100 % en la que se mantuvieron por 50 días. Después del tratamiento, se extrajeron las muestras de semilla de cada tipo de envases y se llevaron a cabo la siembra de los genotipos en el método entre papel, conocidos como rollos o “tacos”, que se colocaron en una cámara de germinación, a una temperatura de 23 ± 1 °C; para evaluar el vigor y germinación de las semillas; al segundo día se evaluó cuidadosamente, evitando lastimar las raíces, al desenrollar los tacos y sobre el papel se contó el número de semillas que presentaban una longitud de radícula mayor a 1mm (R); posteriormente volvieron a enrollas los tacos que se colocaron nuevamente en la cámara germinadora. Al cuarto día (96 h) se procedió a contabilizar la semilla que presentaba plúmula (P); a los siete días, se evaluó la germinación estándar (GE), de acuerdo a las recomendaciones de la ISTA (2005); y considerar las plántulas normales con base en aquellas que tenían raíz, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones; R, P y GE se expresaron en porcentaje. La LP y LR se midió en centímetros con una regla de la parte media del grano; en el caso de PSP y PSR se procedió a separar del resto del grano la

radícula y plúmula de las plántulas normales, se colocaron por separado en bolsas Kraft (15x10 cm) perforadas, que se sometieron a una temperatura de 70 °C por 72 h, finalmente se pesaron en miligramos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza (Cuadro 1) la expresión de plúmula con longitud de 1 mm a los 48 h después de la siembra (P), peso seco de radícula (PSR) y germinación estándar (GE) mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) entre envases (E), genotipos (G) y en la interacción G*E; así como longitud de plúmula (LP), longitud de radícula (LR) y peso seco de plúmula (PSP) en genotipos. La radícula (1 mm a las 46 h) y Longitud de radícula (LR a los 7 días) mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre envases; el resto de las interacciones no presentaron diferencias.

La fuente de variación de mayor importancia con base en la magnitud de sus cuadrados medios fue G, seguida de envases y de la interacción G*E para todas las expresiones evaluadas a excepción de R. Con 45.0, 99.4, 70.7, 99.3, 96.4, 68.2% para genotipos; 32.6,0.3,22.8,0.4,1.9,17.5% para envases y 22.3, 0.3, 6.4, 0.3, 1.7, 14.3% para la interacción G*E. En la variable R la fuente de variación de mayor importancia fue la interacción G*E, Envases y Genotipos (55.4, 44.6 y 0.03%). Los coeficientes de variación expresaron precisión en la dispersión de los datos con respecto a la media.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de germinación y vigoren cereales.

FV	GL	R	P	LP	LR	PSP	PSR	GE
Envases (E)	3	169.45 *	624.12 **	1.08	4.87 *	1839.25	4891.66 **	447.00 **
Genotipos (G)	1	0.125	861.12 **	325.12 **	15.12 **	462722 **	252050.00 **	1740.50 **
G*E	3	210.37	427.12 **	1.04	1.37	1571.41	4461.83 **	365.50 **
Error	24	54.87	56.45	0.77	1.41	809.83	719.2	30.50
R^2		0.35	0.74	0.94	0.49	0.96	0.94	0.85
C.V. (%)		16.12	15.19	6.75	8.46	11.88	15.2	8.94

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad, R^2 = coeficiente de determinación, C.V. = coeficiente de variación, $\bar{x}$ = media, R = radícula con 1mm de longitud a las 48 h, P = semillas con plúmula, LP = longitud de plúmula, LR = longitud de radícula, PSP = peso seco de plúmula, PSR = peso seco de radícula, GE = germinación estándar.

En relación al efecto de envases (ambientes) costal de papel y plástico (CPP), lata de aluminio (LA), costal de polipropileno (CP) y frasco de vidrio hermético (FV) se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), para las variables de vigor R, PN, LR, PSR y GE (Tabla 2). El mejor comportamiento lo presentó el CPP en el las expresiones PN, LR, PSR y GE; seguido de LA para R; el resto de los ambientes no sobresalieron en los rasgos evaluados por lo que se considera que los mejores envases para almacenar semillas de acuerdo a esta evaluación son CPP y LA ya que protegieron mejor la calidad fisiológica de la semilla de los factores abióticos de temperatura y humedad Cavalcante *et al*. (2023) mencionan que las altas temperaturas en al ambiente de

almacenamiento aumenta la actividad de las enzimas asociadas con la respiración, proceso que contribuye significativamente a la perdida de viabilidad de las semillas; lo ideal es almacenar la semilla en ambientes controlados de temperatura y humedad relativa (Oliveira *et al*., 2011) para mantener el valor mínimo de germinación (90%) establecido para la comercialización de semillas.

Cuadro 2. Prueba de medias entre envases para las variables de germinación y vigor de cereales.

Envases	R(> 1 mm %)		P (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
Costal papel y plástico (CPP)	46	b	61	a	13	a	15	a	230	a	205	a	69	a
Lata de aluminio (LA)	53	a	51	b	13	a	13	d	231	a	156	c	66	b
Costal polipropileno (CP)	44	b	46	c	14	a	14	b	262	a	155	c	61	c
Frasco de vidrio hermético (FV)	42	c	40	d	13	a	14	c	235	a	189	b	52	d
DMSH	10.2		10.4		1.2		1.6		39.3		37.0		7.6	

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. R: radícula con 1mm de longitud a las 48 h, P: porcentaje de semillas con plúmula a las 96 h, LP: longitud de plúmula, LR: longitud de radícula, PSP: peso seco de plúmula, PSR: peso seco de radícula, GE: germinación estándar.

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los genotipos de maíz y trigo (Tabla 3); el genotipo que presentó el mejor comportamiento al ser sometido a una temperatura de 35 °C y una humedad relativa de 100 % por 50 días fue el maíz para las expresiones de P, PSP, PSR y GE variables de mayor importancia por su correlación con el establecimiento en campo. El trigo sobresalió en LP y LR; de acuerdo a estos resultados el efecto mayor se dio al disminuir la longitud de plúmula y radícula en el caso de maíz a diferencia del trigo que presento mayor daño en las expresiones de vigor y germinación evaluadas.

Cuadro 3. Prueba de medias entre genotipos para las variables de germinación y vigor de cereales.

Genotipos	R (> 1 mm)		P (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
V-322	46	a	55	a	9.8	b	13	b	360	a	265	a	69	a
Luminaria	46	a	44	b	16.2	a	15	a	119	b	88	b	54	b
DMSH	5.4		4.5		0.6		0.9		20.8		19.6		4.0	

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. R: porcentaje de radícula con 1mm de longitud a las 48 h, P: porcentaje de semillas con plúmula a las 96 h, LP: longitud de plúmula, LR: longitud de radícula, PSP: peso seco de plúmula, PSR: peso seco de radícula, GE: germinación estándar.

CONCLUSIONES

La variedad de maíz V-322 presentó mayor vigor en comparación de la variedad luminaria de trigo al ser sometido a una temperatura de 35°C por 50 días.

Los mejores envases para almacenar semilla fueron el costal de tres capas de papel y una de plástico; y la lata de aluminio; ya que lograron mantener el mejor comportamiento de vigor en las semillas sometidas a un estrés con temperaturas de 35 °C por 50 días con 80 % de humedad relativa; siguen siendo una buena opción para el almacenamiento de semilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cavalcante J.A., Silva A.h., Gogotti G.I., Araújo Á.S., Monteiro R.D. (2023) Stabilization o fan WQ-3 Sensor for Ethanol Meaurement in Cowpea Seeds. Engenharia Agricola 43 (2): e20200046. https://doig.org/10.1590/18094430-Eng.Agric.v43n2e20200046/2023.

Li J. & Song W. (2022) Food Security Review Based on Bibliometrics from 1991 to 2021. Journal Food. 11(23), 3915; https://doi.org/10.3390/foods11233915.

Oliveira, A.C.S.D., Coelho F. C., Vieira H.D., Rubim R.F. (2011). Armazenamento de sementes de milho em embalagens reutilizáveis, sob dois ambientes. RevistaBrasileira de Milho e Sorgo 10 (1): 17-28. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n1p17-28

SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2016). ¿Por qué el trigo en grano es tan valioso?. https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/por-que-el-trigo-en-grano-es-tan-valioso

SAS, Institute, Statistical Analysis System (2011) SAS/STAT@9.3 User´s Guide. Software Release V 9.3. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). La importancia de los cereales en el sector agroalimentario. https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/articulos/la-importancia-de-los-cereales-en-el-sector-alimentario.

Vilela Reis V. U., Carvalho P.A., Reis C.E., Kelli R.D., Vilela R.L., Zanqueta S.P.H. (2022). Vigor of maize seeds and its effects on plant stand establishment, crop development and grain yield. Jornal of seed Science 44: 1-12 e202244020, 2022 https://doi.org/10.1590/2317-1545v44257527

Zhao Y, Qi T., Cui Ch, Liu X., Liu R., Liu S., Song Y., Li Y., Lv H. (2014) Effects of different storage temperatures on the quality and metabolome of maize with high moisture content. Food Science and Technology. 214, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117117.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE GERMINACIÓN EN CELOSIA (*Celosia cristata*) SOMETIDAS A DIFERENTES ESTÁNDARES DE RADIACIÓN GAMMA

Gabriela Briones Herrera[1]; Genaro Pérez Jiménez [2]; Erick Carmona Martínez [1*]; Dulce A. Guarnero López [1]

[1]Instituto de Educación Digital del Estado de Puebla, Camino a Texocuigtic S/N, 73720 Ixtacamaxtitlán, Pue.[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental San Martinito, Santa Rita Tlahuapan, Carretera Federal México-Puebla Km 56.5, CP 74100. *Autor de correspondencia: carmonamartinezerick@gmail.com

RESUMEN

La escasa variabilidad genética de especies introducidas representa una limitante para programas de fitomejoramiento en diferentes especies que son exigidas por la demanda del mercado. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la radiación gamma en el proceso de germinación, velocidad de emergencia, altura, y supervivencia para generar variabilidad en plantas de cresta de gallo (C. cristata), que podría incrementarse con irradiación gamma. Las semillas fueron tratadas con diferentes niveles de rayos gamma a ^{60} Co: 50, 100, 200 y 250, se sembraron en charolas con cavidades de 200 plántulas bajo un diseño experimental completamente al azar de 10 repeticiones. Las variables a evaluar fueron el porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, altura de la plántula y, supervivencia. Los resultados indicaron diferencias significativas ($P < 0.0001$) para todas las variables analizadas, que determinan un efecto existente en las dosis sometidas a ^{60} Co. En germinación, velocidad de emergencia y supervivencia las dosis 50, 100 y 150 reportaron mejores resultados a diferencia de 250 con resultados aproximados al 25%, para la altura de la planta la mejor dosis fue la de 250. La supervivencia fue medida durante 17 días después de sembrar teniendo como, mejor resultado la dosis 50 con un 80%. En general las dosis con baja radiación gamma obtuvieron resultados favorables que pudieran tomarse en cuenta para generar variabilidad en plantas de *C. cristata.*

Palabras claves: *Celosia cristata, variabilidad, grados Gy, supervivencia.*

ABSTRACT

The limited genetic variability of introduced species represents a constraint for plant breeding programs in various species demanded by the market. The objective of this study was to evaluate the effect of gamma radiation on germination, emergence rate, seedling height, and survival to generate variability in cockscomb (*C. cristata*) plants, which could be increased with gamma irradiation. Seeds were treated with different levels of gamma rays at 60°C: 50, 100, 200, and 250. They were sown in trays with 200 seedling cells under a completely randomized experimental design with 10 replicates. The variables evaluated were germination percentage,

emergence rate, seedling height, and survival. The results indicated significant differences (P < 0.0001) for all variables analyzed, demonstrating an effect of the doses subjected to 60 Co. For germination, emergence rate, and survival, doses of 50, 100, and 150 yielded better results, compared to 250, which showed approximately 25%. For plant height, the best dose was 250. Survival was measured 17 days after sowing, with the 50-dose showing the best result at 80%. Overall, the doses with low gamma radiation obtained favorable results that could be considered for generating variability in C. *cristata* plants.

Keywords: *Celosia cristata, variability, Gy, survival*

INTRODUCCIÓN

La flor *Celosia cristata* conocida como terciopelo es una planta herbácea anual de la familia de los amarantos, originaria de América tropical (Lorenzi,1992); es cultivada en regiones o lugares de climas cálidos y soleados, es peculiar por que presenta un tallo aplanado conocido como fascinación, la cual da origen a la forma de cresta de gallo, terciopelo o abanico, por su aplanamiento que va desde el tallo hasta la inflorescencia; en países africanos es utilizada como hortaliza (Okusanya,1980).

Se comprenden 187 especies descritas de las cuales solo 51 son aceptadas, *C. cristata* es un nombre genérico que deriva del griego keleos significa “quemada”, variedad roja intenso cultivadas entre otoño-invierno en regiones de México, se considera una flor decorativa para festividades de día de muertos por su característico color, teniendo así estados productores de esta flor a Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Estado de México, Jalisco, Guerrero, San Luis Potosí, Morelos y Sonora (SAGARPA 2018).

La mutagénesis es una estrategia utilizada para generar variabilidad genética adicional y modificar características agronómicas, entre ellas calidad y resistencia a plagas (Spencer et al. 2021). La radiación gama tiene la ventaja de inducir variabilidad genética, con buenas características de rendimiento y calidad en menor tiempo, en comparación con procesos convencionales al emplear un solo progenitor y generar variaciones con pocos caracteres (Oladosu et al., 2016). En México los programas de mejoramiento orientados a la horticultura ornamental son escasos, y celosia es una flor de temporada con limitado germoplasma como para realizar cruzamientos e iniciar un programa de breeding. Se han realizado exploraciones en las dosis de radiación utilizando rayos gamma de ^{60}Cobalto para algunas especies ornamentales, Canul et al. (2012) en nochebuena encontraron que la dosis de 250 Gy fue efectiva para estimular cambios fisiológicos seleccionables, como enanismo, y se mejoró el tamaño de la semilla.

El proceso de germinación consiste en una secuencia de procesos fisiológicos incididos por factores internos y externos a las semillas, actuando de forma independiente o en conjunto para un apto desarrollo de la emergencia del embrión de la semilla, que a su vez interactúa en un proceso de crecimiento y desarrollo en sus primeras etapas de plántula. En los estudios de semillas irradiadas a ^{60}Co, se ha encontrado efectos herméticos, donde dosis superiores a la media en tratamiento estimulan la germinación, tal como lo reportó Canul et. al. (2012) para nochebuena, donde 275 Gy estimula la velocidad de emergencia.

La poca variabilidad existente y el pool genético a nivel nacional es escaso, y las exigencias en el mercado ornamental son cada vez más exigentes, sin embargo, para desarrollar un programa de mejoramiento genético se requiere de la previa exploración para encontrar un rango que permita encontrar momento óptimos herméticos durante la germinación. ; por lo anterior, el objetivo del presente estudio es inducir variabilidad genética por irradiación de semillas a ^{60}Co y estudiar los efectos durante la geminación y sus cambios a nivel plántula.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal empleado correspondió a semillas de terciopelo, obtenidas a partir de una colecta realizada en Tecamachalco, Puebla, durante el ciclo agrícola otoño 2023. La recepción, registro y preparación inicial de las muestras se efectuaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental San Martinito.

Los tratamientos experimentales se desarrollaron posteriormente en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en Toluca, Estado de México. En este laboratorio se sometieron sobres de 100 g de semilla a irradiación con una fuente de ^{60}Co, aplicando dosis de 50, 100, 200 y 250 Gy.

Posteriormente, fueron regresadas al laboratorio de INIFAP, para efectuar la siembra en charolas de polietileno de 200 cavidades, depositando una semilla por cavidad. Se utilizó como sustrato una mezcla de arena cernida y perlita en proporción 1:1, y el riego se efectuó manualmente con agua de red. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar.

Para la toma de datos se registraron 10 unidades experimentales (plántulas), por cada tratamiento. Después de siete días después de la siembra, se empezó a registrar la germinación y con esos datos se calculó el porcentaje de germinación (%G); la velocidad de emergencia se calculó desde el día siete hasta el día 17

cuando terminaron de germinar; se consideraban plantas germinadas cuando los cotiledones estaban por encima de la superficie del sustrato y se consideró la fórmula propuesta por Maguire (1962):

$$VE = \frac{\#\ de\ plántulas\ normales\ al\ 1er\ día}{días\ al\ conteo} + \cdots + \frac{\#número\ de\ plantulas\ normales\ al\ conteo\ final}{días\ al\ conteo\ final}$$

Para la supervivencia de plántulas (PS) se evaluaron a los 17 días después de la germinación con la fórmula:

$$\text{PE} = \frac{\#\ de\ plántulas\ vivas}{número\ de\ semillas\ sembradas} x\ 100$$

A cada una de las plántulas se les midió la altura (cm) seleccionadas al azar, se tomó en cuenta el tallo desde del cuello de la raíz hasta la parte inicial de las primeras hojas. Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA por cada variable evaluada y donde se mostraron diferencias significativas se realizó una comparación de medidas por Turkey (P <0.0001). Para las variables medidas en unidades (germinación y supervivencia) se calculó mediante un agrupamiento de datos y depuración para obtener un coeficiente de diferenciación estable con el paquete estadístico InfoStat, Ver. Estudiantil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas (P < 0.0001) para todas las variables evaluadas (Cuadro1), lo cual indica que las distintas dosis de irradiación con ^{60}Co ejercieron un efecto diferenciador sobre las semillas durante la primera etapa de germinación. Estos hallazgos evidencian una susceptibilidad fisiológica de la semilla a las dosis aplicadas.

Cuadro 1. Análisis de varianza para el factor dosis de radiación gamma para generar variabilidad en plantas de flor de terciopelo.

FV	%G	VE	PS	AP
Dosis	14745.99*	208.10*	4035.32*	5.69*
Error	1640.28	16.17	352.89	0.44
R^2	0.53	0.62	0.59	0.73
CV (%)	36.01	17.66	32.31	36.01

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; %G: porcentaje de germinación; VE: velocidad de emergencia, PS: porcentaje de supervivencia, AP: altura de la planta, R2: Coeficiente de determinación, CV: Coeficiente de variación.

El porcentaje de germinación (Cuadro 2) en los tres primeros tratamientos (Cuadro 2), manifestaron de 159 - 144 plántulas de un total germinadas de 200 semillas. Esto sugiere que las dosis bajas de irradiación ejercieron efectos estimulantes como inhibitorios, dependiendo del nivel aplicado. De lo anterior, efecto similar fue observado por Canul et al. (2012) en semillas irradiadas de nochebuena, donde dosis menores a 150 Gy mostraron un efecto deletéreo a la germinación. Mientras que en café el efecto fue distinto, dosis de 75 Gy causaron la disminución de la germinación a porcentajes menores del 50 % (Avendaño et al., 2021).

De acuerdo con la prueba Turkey, la dosis de 50 Gy registró el mayor porcentaje de germinación, mientras que 250 Gy redujo el parámetro hasta 25 %, mostrando así un efecto inhibitorio marcado. Estos resultados coinciden con lo reportado por Antúnez et. al. (2022), quienes observaron en *Echinocactus platyacanthus* que la dosis de 50 Gy promovió la germinación *de* hasta 97 % de las semillas evaluadas.

En relación con la velocidad de emergencia, indicó que refleja la rapidez con las que las plántulas aparecen sobre el sustrato, los resultados muestran un comportamiento diferencial entre tratamientos. Según los criterios de Maguire (1992) y la prueba de Turkey las dosis de 250 Gy, la velocidad de emergencia disminuyó de manera notable. Este patrón es consistente con lo señalado por Llaven et al., (2025) en plántulas de ajonjolí pachequeño sometidas a irradiación.

En la altura de plántula, se identificó que los tratamientos de 50, 100 y 200 Gy mostraron respuestas similares entre sí; sin embargo, el tratamiento de 250 Gy obtuvo la mayor altura promedio. Este comportamiento podría estar relacionado con un efecto compensatorio del crecimiento, como señalan estudios previos de Antúnez et al. (2022), aunque debe interpretarse con cautela, dado que una mayor altura no necesariamente implica un desarrollo fisiológico óptimo.

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables de germinación analizadas con diferentes dosis de radiación gamma aplicadas en la semilla de cresta de gallo.

Dosis	%G	VE	PS	AP
50	159.29 a	27.88 a	79.64 a	8.10 b
100	126.43 a	25.47 a	70.82 a	7.70 b
200	114.43 a	22.43 a	57.21 a	7.45 b
250	49.79 b	15.31 b	24.89 b	10.08 a
DMS	59.71	5.92	27.69	1.4

Medidas con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales según Tukey P α 0.05. %G: porcentaje de germinación, VE: velocidad de emergencia, PS: porcentaje de supervivencia, AP: altura de la planta.

CONCLUSIONES

La radiación gamma ^{60}Co en semillas de flor de terciopelo (*C. cristata*) mostró efectos diferenciados según la dosis. El tratamiento de 50 Gy estimuló notablemente la germinación, alcanzando hasta un 80 %, mientras que la dosis de 250 Gy afectó negativamente este proceso. Las dosis intermedias de 100 y 200 Gy presentaron resultados semejantes entre sí.

Se observó que dosis superiores de 250 Gy incrementa la altura de la planta, mientras que dosis menores favorecen el rango de la velocidad de emergencia y supervivencia. En conjunto, estos hallazgos aportan información relevante sobre la respuesta del comportamiento de semillas a irradiación gamma ^{60}Co para

determinar rangos futuros para próximas dosis de radiación como base para generar variabilidad y ampliar el acervo genético de *C. cristata*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antúnez,O., Croseños,P., OM. L., Croseños,P., Espinosa,R., M., Vázquez,V., M., Rojas,G. and A. R.,Sabino,L., J. E. (2024). Seed germination and seedling vigor of *Apaxtleco peppers* in response to Co gamma radiation. *Revista BioCiencias*.11, e 1591.hptts://doi.org/10.15741/revbio.11_e1591.

Antúnez,O., O. M., Cruz, I. S., Sandoval, V., M., Santacruz. V., A., Mendoza-Onofre, L. E., y De la Cruz-Torres, E. (2017). Variabilidad inducida en caracteres fisiológicos de *Physalis peruviana* L. mediante rayos gamma Co aplicados a la semilla. Revista Fitotecnia Mexicana, 40, 211-218.

Avendaño-Arrazate, C. H., Gómez-Simuta, Y., Martínez-Bolaños, M., Méndez-López, I., Ortíz-Curiel, S., Oriza-Flores, R., Canul-Ku, J., and Reyes-López, D. (2021). Radiación gamma de 60Co en características morfológicas y reproductivas de plantas M1 en *Coffea arabica* L. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(1), e2730. doi.org

Borba de Sousa Ferreira, E. G., Pontes Matos, V., MouraSena, L. H., y Figueiredo Almeida Sales, A. G. (2008). Germinación de semillas y desarrollo inicial de plántulas de cresta de galo en diferentes sustratos. Scientia Agraria, 9(2), 241-244.

Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Campos-Bravo, E., Barrios-Gómez, E., Cruz-Torres. E., García-Andrade, J.M., Ozuna-Canizalez, F.J. y Ramírez-Rojas, S.(2012). Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agricolas, 3(8), 1495-15007.doi.org.

Gálvez-Marroquín, L. A., Avendaño-Arrazate, C. H., Ariza-Flores, R., Gomez-Simuta, Y., Martínez-Bolaños, M., y Cruz-López, J. A. (2023). Radiación gamma en semillas de jamaica para inducir variación morfológica y selección de mutantes. Revista Mexicana de Ciencias Agricolas, 14(5),27-37. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3010.

Hernández Muñoz, S., Pedraza-Santos, M. E., López, P. A., Gómez-Sanabria, J. M., and Morales-García, J. L. (2019). Mutagenesis in the improvement of ornamental plants. Revista Chapingo Serie Horticultura, 25(3), 151-167. doi: 10.5154/r.rchsh.2018.12.022.

Llaven-Valencia, G. Castillo-González, F., Santacruz-Varela. A.,García-León, E., Cruz-Izquierdo, S., Antúnez-Ocampo,O. y Hernández-Hernández,A. Efecto de la radiación gamma en la germinación y supervivencia de plántulas en la variedad de ajonjolí Pachequeño. *Rev. fitotec. mex* [online]. 2025, vol.48, n.2, pp.151-161. Epub 08-Dic-2025. ISSN 0187-7380. https://doi.org/10.35196/rfm.2025.2.151.

Maguire J. D. (1962) Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science2:176-177, https://doi.org/10.2135cropsi1962.0011183X000200020033x.

Okunsanya,(1980). Ecológicas studies on seed germination of leonotis nepetifolia (L) ait. f. in relation to environmental factors with emphasis on fluoride pollutedsoils. Disponible en https ://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_063_06.pdf.

SAGARPA, (2018). Terciopelo: suavidad, belleza y tradición. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/articulos/terciopelo-suavidad-belleza-y-tradicion.

Yusuff, Oladosu & Rafii, M. & Abdullah, Norhani and Hussin, Ghazali & Ramli, Aliza & Rahim, Harun & Miah, Gous & Usman, Magaji G. (2015). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 30. 1-16. 10.1080/13102818.2015.1087333.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

FERTILIZACIÓN CON MICROELEMENTOS EN EL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus L.*) EN CONDICIÓN DE INVERNADERO

Ian P. Suarez Joya[1]; Luis F. Herrera Mendoza[1]; Edgar A. Meléndez Pescador[1]; José M. Martínez Caracheo[1]; María L. Rivera Serrano[2]; Juan P. González Morales[2]; Luis P. Guevara Acevedo[2]¶

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. [2]Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, Celaya Guanajuato. ¶Autor de correspondencia: luis.ga@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de microelementos sobre variables agronómicas en el cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero. El experimento se realizó en un invernadero de 90m^2 dentro del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Roque, se utilizaron tres diferentes dosis de producto con microelementos comercial (Tradecorp AZ). Las dosis utilizadas fueron DC 3.27g L^{-1}, 5XDC 16.35 g L^{-1} y 15XDC 49.05 g L^{-1} además de un testigo comercial con aplicación de algas marinas a una dosis de 5 mL L^{-1}, dos semanas después del trasplante se realizó la primera aplicación. 7 días después de la primera aplicación iniciaron las mediciones en las cuales se evaluaron tres plantas por unidad experimental y en las que se registraron: altura de la planta, numero de hojas, unidades SPAD de clorofila y diámetro de tallo. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas en longitud de planta, número de hojas y contenido de clorofila, mientras que el diámetro del tallo no presentó diferencias significativas. La dosis 5XDC mostró la mayor longitud de planta, mientras que la dosis 15XDC presentó mayores valores en unidades SPAD y número de hojas. Los resultados evidenciaron que dosis altas de microelementos favorecen el desarrollo fenológico y vegetativo del cultivo de pepino bajo condiciones protegidas.

Palabras clave: *microelementos, invernadero, fertilización, desarrollo vegetativo*

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of different micronutrient doses on agronomic variables in cucumber cultivation under greenhouse conditions. The experiment was conducted in a 90 m² greenhouse at the Instituto Tecnológico Nacional de México. Three different doses of a commercial micronutrient product (Tradecorp AZ) were used. The applied doses were RDC 3.27 g L^{-1}, 5XRDC 16.35 g L^{-1}, and 15XRDC 49.05 g L^{-1}, in addition to a commercial control treatment with seaweed application at a dose of 5 mL L^{-1}. The first application was carried out two weeks after transplanting. Seven days after the first application, measurements began, evaluating three plants per experimental unit. The recorded variables were plant height, number of leaves, SPAD chlorophyll units, and stem diameter. The results showed highly significant differences in plant

height, number of leaves, and chlorophyll content, while stem diameter showed no significant differences. The 5XRDC dose produced the greatest plant height, whereas the 15XRDC dose showed higher SPAD values and number of leaves. The results demonstrated that high micronutrient doses promote the phenological and vegetative development of cucumber crops under protected conditions.

Keywords: *micronutrients, greenhouse, fertilization, vegetative development.*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) representa una de las hortalizas de mayor importancia económica en México, debido a su alta demanda tanto en el mercado nacional como internacional, lo que ha impulsado su crecimiento productivo en las últimas décadas (Figueroa-Hernández y Espinosa-Torres, 2020). Según datos obtenidos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023), dicha producción fue posible gracias al suministro adecuado de nutrientes durante el ciclo del cultivo, particularmente en la fase vegetativa, donde los microelementos desempeñan un papel fundamental en el metabolismo vegetal. La absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas están estrechamente relacionados con la disponibilidad nutrimental durante el ciclo del cultivo, por lo que un adecuado suministro de macro y micronutrientes permite mejorar variables como el área foliar, acumulación de biomasa, producción de frutos y rendimiento final. (Ramírez-Vargas, 2019). Los microelementos, tales como hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B), son esenciales en pequeñas cantidades, pero su deficiencia puede limitar significativamente el crecimiento y rendimiento del pepino, ya que participan en procesos como la fotosíntesis, la síntesis de enzimas y la regulación hormonal (Marschner, 2012; Broadley *et al*., 2012). En cultivos hortícolas, se ha observado que la aplicación adecuada de estos elementos mejora la calidad del fruto, incrementa la resistencia al estrés y optimiza la absorción de macronutrientes (Fageria *et al*., 2011). Las algas marinas poseen compuestos promotores del crecimiento vegetal que pueden estimular la germinación de semillas, incrementar el desarrollo radicular, favorecer la absorción de nutrientes y mejorar parámetros fisiológicos relacionados con la fotosíntesis y la acumulación de biomasa en diferentes especies agrícolas. (Hernández-Herrera *et al*., 2018). En conjunto, los microelementos desempeñan un papel crítico en la productividad agrícola, ya que su adecuada disponibilidad influye directamente en la calidad de los cultivos, su rendimiento y su capacidad de adaptación a condiciones adversas (Agrotey, 2024). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosificaciones de microelementos sobre el cultivo del pepino bajo condiciones de invernadero, con la finalidad de encontrar si una mayor dosificación que la recomendada por el fabricante pueden incrementar el desarrollo fenológico en las etapas iniciales del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero dentro del Instituto Tecnológico Nacional de México, campus Roque, en una superficie total de 90 m². Se empleó la variedad de pepino persa y se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA), conformado por cinco bloques, tres diferentes dosis de microelementos (Tradecorp AZ) y un testigo con aplicación de algas marinas a una dosis de 5 mL L^{-1}. Las dosis utilizadas fueron: dosis comercial 3.27 g L^{-1}, 5XDC 16.35 g L^{-1} y 15XDC 49.05 g L^{-1} aplicadas una vez a la semana. Previo al trasplante, el suelo fue labrado y recubierto con acolchado agrícola, se instaló un sistema de riego por goteo con dos cintas por cama, aplicando un volumen de 1 m³ de agua por semana durante todo el ciclo del cultivo. Posteriormente, las plantas fueron trasplantadas con una distancia de 15 cm entre plantas y una profundidad de siembra de 3 cm. Durante las dos primeras semanas después del trasplante se realizaron dos aplicaciones de enraizador Raizgrán® Plus de la marca Bioenzymas, mediante fertirriego, con una dosis de 500 g por riego. Para cumplir con los requerimientos nutrimentales del cultivo, semanalmente se aplicaron por fertirriego semanalmente los siguientes compuestos: 54 g de nitrato de calcio, 34 g de nitrato de potasio, 22 g de ácido fosfórico, 200 g de urea y 52 g de sulfato de magnesio. Las aplicaciones de los tratamientos evaluados iniciaron dos semanas después del trasplante. Las mediciones comenzaron una semana después de la primera aplicación de los tratamientos, evaluándose tres plantas por bloque. Para ello se utilizaron los siguientes materiales: una báscula gramera digital (Truper), un vernier (Atvercey), una cinta métrica (Makita) y un medidor de clorofila SPAD (Minolta). Las evaluaciones se realizaron dos veces por semana y se consideraron los siguientes parámetros: altura de planta, número de hojas, ancho de tallo y cantidad de clorofila. Finalmente, para el análisis de los resultados se realizó un análisis de varianza y, cuando se presentaron diferencias significativas, se aplicó una prueba de medias de Tukey. Para ello se utilizó el programa SAS® 9.4 para Windows, versión 2012.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de los tratamientos en las variables de crecimiento evaluadas resultó en efectos altamente significativos para longitud de planta (Pr > F, <0.0001), número de hojas (Pr > F, <0.0001) y unidades SPAD (Pr > F, 0.0007), mientras que para el diámetro del tallo no hubo una diferencia significativa (Pr > F, 0.3290) Estos resultados coinciden con lo reportado por Méndez-López *et al.* (2024) en los que se pudo observar un efecto positivo sobre el desarrollo de la planta como resultado de la aplicación de microelementos.

Por otra parte, los muestreos mostraron alta significancia (Pr > F, <0.0001) en todas las variables evaluadas, indicando que el desarrollo fenológico del cultivo influyó directamente sobre la longitud de planta, número de hojas, diámetro de tallo y contenido de clorofila tal como menciona. Los micronutrientes participan activamente

en procesos fisiológicos y metabólicos relacionados con el crecimiento, desarrollo fenológico y reproducción de las plantas, aun cuando son requeridos en concentraciones muy pequeñas dentro de los tejidos vegetales.

Cuadro 1. Cuadrado medio de las variables agronómicas por efecto de la aplicación de microelementos a diferentes dosis en el cultivo de pepino.

FV	gl	Cuadrado Medio			
		LongPl (cm)	NúmHj	Diám/tallo (mm)	Unidades SPAD (Clorofila)
Trat (T)	3	151.63^{ns}	40.67**	15.69^{ns}	49.35*
Muest (M)	6	18353.53**	80.62**	11035.69**	135.13**
Bloq	1	785.54*	2.05^{ns}	126.73*	14.4^{ns}
T x M	18	36.4^{ns}	8.54**	22.09^{ns}	20.78*
EE	111	54.23	2,07	13,55	8,13
Total	139	-	-	-	-
R^2		0.94	0.76	0.97	0.59
C. V. (%)		13.7	14.9	22.3	6.3

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad.

El tratamiento 5XDC la dosis comercial fue la que obtuvo un mejor desempeño en cuanto altura de planta siendo este un 5.09% por encima del testigo, demostrando el efecto positivo que tiene el suministro de micro elementos durante el crecimiento vegetativo, estos resultados coinciden con lo planteado por Soetan *et al.,* 2010 quien menciona que los microelementos como hierro, zinc, cobre, manganeso y boro participan activamente en procesos metabólicos y enzimáticos relacionados con el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas. El tratamiento 15XDC fue la que presentó una mayor cantidad de unidades SPAD siendo un 5.94% mayor que el testigo, también esta dosis la que logró un incremento de 23.26% en número de hojas siendo estos resultados contrarios a los obtenidos por Lora Silva, 2007 quien menciona lo que el exceso de micronutrientes esenciales como Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, B y Mo puede provocar problemas de toxicidad vegetal, afectando procesos fisiológicos, crecimiento y desarrollo de las plantas.

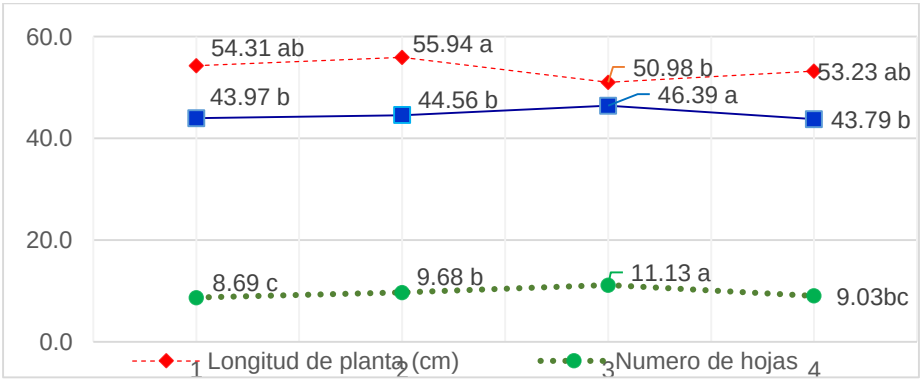


Figura 1 Evaluación diferentes tratamientos en cultivo del pepino

CONCLUSIONES

Se recomienda el uso de dosis superiores a la dosis comercial recomendada por el fabricante del producto Tradecorp AZ, siendo la dosis de 49.05 g L^{-1} la que provoco un mayor número de hojas incrementando en un 23.26%, además de una mayor cantidad de unidades SPAD con un aumento del 5.94%. La dosis de 16.35 g L^{-1} obtuvo los mejores resultados en cuanto a altura de planta logrando un incremento del 5.09%, ambos tratamientos superaron al testigo utilizado (algas marinas) y a la dosis comercial 3.27g L^{-1}

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrotey. (2024). *Importancia de los micronutrientes en las plantas para un crecimiento saludable*. https://www.agrotey.com.mx/importancia-de-los-micronutrientes-en-las-plantas/?utm_source

Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). *Function of nutrients: micronutrients*. Plant and Soil.

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2011). *Micronutrients in crop production*. Advances in Agronomy.

FIGUEROA HERNANDEZ, E. S. T. H. E. R., & Espinosa Torres, L. E. (2020). Análisis de la producción de pepino y pepinillos en México.

Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Di Filippo-Herrera, D. A., & Hernández-Carmona, G. (2018). *Las algas como potenciales estimulantes del crecimiento vegetal para la agricultura en México*. Hidrobiológica, 28(1), 129-140.

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., *et al*. (2009). *Seaweed extracts as biostimulants of plant growth*. Journal of Plant Growth Regulation.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.

Méndez-López, A., García-Santiago, J. C., González-Méndez, L. M., Martínez-Amador, S. Y., Leal-Robles, A. I., & Sánchez-Vega, M. (2024). *Impacto de nanofertilizantes en el rendimiento y calidad de pepino bajo condiciones de invernadero*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(4), e3343. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i4.3343

Ramírez-Vargas, C. (2019). *Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico*. Revista Tecnología en Marcha, 32(1), 107-117.

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). *Biostimulants in agriculture*. Frontiers in Plant Science.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Pepino mexicano, el favorito de muchos*. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/pepino-mexicano-el-favorito-de-muchos

Soetan, K. O., Olaiya, C. O., & Oyewole, O. E. (2010). *The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review*. African Journal of Food Science, 4(5), 200-222.



Pecuaria

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA VACUNAL EN BOVINOS DE PÉPTIDOS DE QUITINASA CONTENIENDO EPÍTOPOS B CONTRA GARRAPATA *Rhipicephalus microplus*

María Martina E. Pérez-Soria[1]; Daniel G. López-Díaz[1]; Gabriela Aguilar-Tipacamú [1]; Juan Mosqueda[1].

[1]Laboratorio de Inmunología y Vacunas. Facultad de Ciencias Naturales UAQ. Autor de corresóndencia: casabts7@gmail.com

RESUMEN

Las garrapatas *R. microplus* son ectoparásitos hematófagos considerados como los más dañinos para la ganadería de zonas tropicales y subtropicales en México y el mundo. Parasita al 80% de bovinos a nivel mundial, afecta la productividad del ganado; transmite patógenos como *Babesia* spp. y Anaplasma marginale. El impacto económico mundial se estima en billones de dólares. En México son de $ 573 millones de dólares anuales. La utilización de químicos para su control ocasiona resistencia a los acaricidas y contaminación del medio ambiente. Considerando la preocupación por la seguridad del medio ambiente, la salud humana y la salud animal, bajo el principio de una sola salud, una alternativa sustentable, es el control inmunológico, basado en la identificación *in silico* de antígenos conservados de garrapata para desarrollar una vacuna que generen anticuerpos e impida su función vital. El objetivo fue identificar péptidos con epítopos B conservados del antígeno quitinasa de *R. microplus* y evaluar su eficacia vacunal. El análisis de secuencias de la proteína quitinasa se realizó con herramientas bioinformáticas. Para la identificación de regiones conservadas y el análisis del grado de conservación de la proteína en los diferentes aislados se realizó alineamiento múltiple utilizando tres secuencias, una correspondiente al estado de Querétaro, otra fue la cepa Media Joya y la cepa de referencia fue JAC58962.1. El fragmento utilizado fue de 1311 pb, de las cuales fueron amplificados 890 pb. Se observó un porcentaje promedio de identidad del 99.32% y similitud del 99.84%. Se seleccionaron 4 péptidos de la proteína conteniendo epítopos B predichos y conservados en *R. microplus*. La inmunogenicidad de cada péptido se evaluó al vacunar bovinos con 100 ug de cada péptido sintético. La generación de anticuerpos fue significativa a partir de la segunda aplicación, incrementándose después de cada inmunización con el péptido quitinasa 3, el cual obtuvo el 71%, de eficacia vacunal además de disminuir significativamente el peso de las garrapatas repletas, la viabilidad de las larvas y la cantidad de huevos eclosionados ($p < 0.05$). Con base a los resultados obtenidos el péptido quitinasa presenta las características requeridas para ser considerado como un candidato vacunal contra *R. microplus*.

Palabras clave: *garrapatas, bioinformática, vacuna, quitinasa, epítopos B.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE DIFERENTES NIVELES DE FIBRA ÁCIDO DETERGENTE EN DIETAS DE CONEJOS DE ENGORDA

Francisco Javier Pinales Jiménez[1]; Ignacio Mejía Haro[1].

[1]Doctorado en ciencias en Procesos en Biotecnología Agropecuaria Tecnológico Nacional de México. Tecnológico El Llano, carretera Ags.-SLP, km 18. Autor de correspondencia email: pinalespaco@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar cuatro niveles de fibra detergente ácida en dietas de engorda en conejos, con la finalidad de determinar el requerimiento de fibra en conejos y poder evaluar los parámetros productivos en función del porcentaje de inclusión. Se utilizaron los niveles de 13%,16%,19% y 22% de Fibra Detergente Acida en la dieta, respectivamente. Una vez formuladas las dietas, se elaboraron y peletizaron para ser suministradas a los conejos. Se utilizó un diseño completamente al azar en donde 40 conejos machos de la raza California, destetados de 1 mes de edad y un peso promedio de 400 g fueron distribuidos al azar en cuatro tratamientos (T1, 13% FDA; T2, 16% FDA; T3, 19% FDA y T4, 22% FDA) durante 50 días de engorda. Se registró el consumo de alimento, ganancia diaria de peso, ganancia final, y conversión alimenticia. Al finalizar el experimento, se sacrificaron los animales para evaluar el rendimiento en canal y su calidad; los datos se analizaron estadísticamente con SAS mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias. T1 fue superior a T2 y T3, y estos a T4 ($P<0.05$) en ganancia diaria de peso, ganancia total de peso, conversión alimenticia y rendimiento de la canal. En consumo de alimento no se observaron diferencias entre T2, T3, y T4 ($P> 0.05$). En T1 se obtuvieron los mejores parámetros productivos en tanto a rendimiento elevando el costo de alimentación por los ingredientes utilizados en la dieta en comparación con T4 en donde se incluyó un mayor porcentaje de forraje y se redujo el costo de alimentación, lo que resulta viable como alternativa dependiendo de los recursos forrajeros con los que cuente el productor.

Palabras clave: *forrajes, fibra detergente ácida, conejos de engorda.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

HONGOS DEL GÉNERO Pleurotus COMO ALTERNATIVA FUNCIONAL AL USO DE ANTIBIÓTICOS EN AVES DE ENGORDA

Sergio A. Vázquez Rascón[1]; Miguel Gómez Jiménez[2]; María Susana Acosta Navarrete[2]; Fidel M. Torres Lemus[1], Mario Hidalgo-Ruiz[1*]

[1]Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 29060, México [2]Tecnológico Nacional de México/Roque Carretera Celaya-Juventino Rosas Km 8, Celaya, Guanajuato. Autor de correspondencia: *mario.hidalgo@unach.mx

RESUMEN

El uso prolongado de antibióticos como promotores de crecimiento en la producción avícola ha contribuido al desarrollo de resistencia antimicrobiana, representando un problema para la salud pública y los sistemas de producción animal. En este contexto, los hongos comestibles del género Pleurotus han despertado interés debido a su contenido de compuestos bioactivos con potencial funcional, incluyendo β-glucanos, compuestos fenólicos y ergosterol, asociados con propiedades inmunomoduladoras y antioxidantes. El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la inclusión de Pleurotus citrinopileatus y Pleurotus djamor en la dieta de aves de engorda sobre parámetros productivos. Se utilizarán 160 pollos distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos experimentales con diferentes niveles de inclusión de biomasa fúngica deshidratada y molida. Durante un ciclo de producción de 48 días se registrarán parámetros productivos como ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Asimismo, se realizarán muestreos biológicos para evaluar indicadores inmunológicos mediante ELISA y conteo leucocitario. Adicionalmente, se obtendrán muestras intestinales para análisis histológicos orientados a evaluar cambios asociados con procesos inflamatorios y posibles efectos sobre la integridad intestinal. Se espera determinar si la inclusión de especies del género Pleurotus favorece la respuesta inmunológica, mejora parámetros productivos y contribuye al mantenimiento de la salud intestinal en aves de engorda. Los resultados podrían aportar bases científicas para el desarrollo de estrategias nutricionales sostenibles orientadas a disminuir la dependencia del uso de antibióticos en la producción avícola bajo un enfoque One Health.

Palabras clave: *Pleurotus, aves de engorda, inmunomodulación, salud intestinal, producción avícola, One Health.*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN ANUAL Y DENSIDAD POBLACIÓN DE NOPAL FORRAJERO (*Opuntia ficus-indica*) VARIEDAD COPENA-1 EN UNA HUERTA DE TEMPORAL

J. Encarnación García-Portuguez[1]; Saturnino Duarte Ramos[1]

[1]Centro De Bachillerato Tecnologico Agropecuario. No. 105. La Estrella. Pénjamo. Gto. Méx. Autor de correspondencia: carneshon@hotmail.com

RESUMEN

Actualmente el cambio climático es uno de los grandes retos que el mundo debe enfrentar y en el futuro las sequias prolongadas, altas temperaturas, suelos pobres y la desertificación son los temas entre otros que atenderán muchos países, especialmente donde los campesinos pobres y pequeños productores serán severamente afectados. Las cactáceas están siendo de creciente interés y en particular el nopal (*Opuntia ficus-indica*) debido a sus características únicas, las cuales lo proveen de resiliencia a las condiciones previamente mencionadas. El estudio fue realizado en una huerta de nopal forrajero, la cual fue establecida utilizando un diseño experimental bloques al azar (BA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, caracterizados como: T-0. Densidad de población de 25,000 cladodios/ha; T-1: 20,000 cladodios/ha; T-2: 16,600 cladodios/ha y T-3: 13,300 cladodios/ha. Se realizaron podas de formación para favorecer el desarrollo de dos niveles de pencas en cada cladodio madre y lograr una estructura botánica robusta en forma de arbusto. Las variables de respuesta fueron: porcentaje de establecimiento del cultivo y la producción anual de pencas por planta y por unidad de superficie. La mayor densidad de población (T-0) incremento la producción de pencas por planta y por unidad de superficie, obteniendo 95% de establecimiento del cultivo y destacando que la distancia entre surcos de 0.80 m. de ancho dificulto la aplicación de prácticas culturales y la cosecha de forraje. El establecimiento de la huerta de temporal es una estrategia productiva, eficiente y sustentable de suplementación alimenticia para el ganado durante todo el año.

Palabras clave: *Cambio climático-establecimiento-temporal-rendimiento-forraje-cactus-pencas.*

ABSTRACT

Climate change is currently one of the challenges the world has to face and in the future prolonged droughts, high temperatures, poor soils and desertification are the issues among others that many countries will face, especially where poor farmers and small producers will be severely affected. Cacti are of growing interest and in particular nopal (*Opuntia ficus-indica*) due to its unique characteristics, which provide resilience to the previously mentioned conditions. The study was conducted in a one forage cactus orchard, which was established using a randomized block experimental design (BA) with four treatments and four replications,

characterized as: T-0. Population density of 25,000 cladodes/ha; T-1: 20,000 cladodes/ha; T-2: 16,600 cladodes/ha and T-3: 13,300 cladodes/ha. Training pruning was carried out to favor the development of three levels of stalks in each mother cladode and achieve a robust botanical structure in the form of a bush. The response variables were: percentage of crop establishment and annual production of stalks per plant and per unit area. The highest stocking density (T-0) increased the production of stalks per plant and per unit area, obtaining 95% of crop establishment and highlighting that the distance between furrows of 0.80 m. wide made the application of cultural practices and forage harvesting difficult. The establishment of the rainfed orchard is a productive, efficient and sustainable strategy for year-round livestock feed supplementation.

Keywords: *Stalks-cactus-forage-yield-rainfed-establishment-climate change*

INTRODUCCIÓN

El nopal es una planta perenne perteneciente a la familia cactácea originaria de México, se encuentra distribuida a lo largo del continente americano especialmente en lugares desérticos, generando gran variabilidad genética y posibilidades de adaptabilidad (Flores y García, 2003). Actualmente el cambio climático es uno de los más grandes retos que el mundo debe enfrentar y en el futuro las sequias prolongadas, altas temperaturas, suelos pobres y la desertificación son los temas entre otros que atenderán muchos países, especialmente aquellos donde los campesinos pobres y pequeños productores serán severamente afectados. Las cactáceas están siendo de creciente interés y en particular el nopal (*Opuntia ficus-indica*) debido a sus características únicas, las cuales le proveen resiliencia a las condiciones limitantes previamente mencionadas. El nopal forrajero en México ha sido utilizado históricamente y existen reportes del uso exitoso del nopal como forraje en México, aunque el potencial del nopal permanece insuficientemente explotado (Inglese, *et al*., 2018). La densidad de población es una de las prácticas agrícola más recomendada para incrementar la producción anual de forraje verde de nopal forrajero y en forma general los resultados obtenidos indican que al disminuir la densidad de población el rendimiento de forraje por planta es mayor, pero al aumentar la densidad se obtiene mayor cantidad de forraje por unidad de superficie (Santos, *et al*., 2006). Recientemente García-Portuguez (2024), afirma que al utilizar 25,000 plantas por unidad de superficie como estrategia agronómica para incrementar la producción de forraje verde de nopal forrajero en una huerta de seis meses de edad del trasplante, se registro 95 % de establecimiento del cultivo y mayor producción de pencas por planta y por unidad de superficie. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción anual de forraje y la densidad de población del nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) Variedad COPENA-1 en una huerta de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en una huerta de nopal forrajero de un año y medio de edad después del trasplante en la cual se utilizó un diseño experimental bloques al azar (BA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, caracterizados como: T-0. Densidad de población de 25,000 cladodios/ha; T-1: 20,000 cladodios/ha; T-2: 16,600 cladodios/ha y T-3: 13,300 cladodios/ha. Se considero como unidad experimental a cada una de las 16 parcelas experimentales construidas en 5 m de ancho y 6 m. de largo con 5 surcos de 0.8 m. de ancho y 6 m. de largo. El trasplante se realizó de forma manual empleando una pala. Se aplicaron riegos de auxilio y se fertilizó con estiércol de vacuno a razón de 1 Kg/cladodio. Se realizaron podas de formación para favorecer el desarrollo de dos niveles de pencas en cada cladodio madre y lograr que estos últimos adquirieran una estructura botánica robusta en forma de arbusto al año y media de edad después del trasplante. Las pencas seleccionadas para ser cosechadas tuvieron como características de desarrollo fenológico una longitud de la base a la corona de 35 cm., longitud ecuatorial 25 cm., grosor 4 cm., color verde olivo, forma elíptica, consistencia firme y carnosa, suculenta y un peso de 1.3 Kg., las cuales cumplen con el tipo de penca que se requiere tradicionalmente para el consumo animal, cladodio madre de trasplante o para comercializar. Las variables de respuesta consideradas fueron: porcentaje de establecimiento del cultivo y la producción anual de pencas por planta y por unidad de superficie, registrando los datos correspondientes en una bitácora de campo y en hojas de cálculo (Excel) para someterse al análisis de varianza y comparación de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de forraje verde de pencas por planta y por unidad de superficie se incremento al ser mayor la densidad de población, distinguiendo en este caso que la producción de pencas hijas por cladodio madre se aumento con la densidad de población menor, aunque la poca cantidad de cladodios madre por unidad de superficie dio como resultado reducción en la producción de pencas hijas por unidad de superficie, estos resultados están de acuerdo con los reportados por Santos, *et al*., (2006) y Reveles-Hernández y Flores-Ortíz (2009), pues indican que la mayor densidad de población reduce la producción de forraje verde por planta e incrementa dicha producción por unidad de superficie (Cuadro 1).

Cuadro 1. Densidad de población y producción anual de pencas de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) Variedad COPENA-1 en una huerta de temporal. La Estrella. Pénjamo. Guanajuato.

	Variables de respuesta[1].		
Tratamientos.	No. pencas. (Piezas/Tratamiento).	Peso promedio individual de penca (Kg).	Producción pencas. (Ton/ha).
T0	851 a	0.92 b	65.00 a
T1	752 b	0.93 b	58.61 b
T2	654 c	0.93 b	50.81 c
T3	607 c	0.96 a	48.94 c

[1]Valores de medias con distinta letra dentro de columnas son diferentes estadísticamente. (P<0.05).

En cuanto a la densidad de población, con el tratamiento T-0 se obtuvo un 95% de establecimiento de cladodios madre logrando al año y medio de edad del trasplante la formación de plantas maduras con estructura botánica arbustiva de dos niveles. Figura 1, Figura 2 y Figura 3.



Figura 1. Establecimiento de 95% de cladodios madre en la huerta de temporal. La Estrella, Pénjamo. Gto.



Figura 2. Penca madre madura de nopal forrajero con estructura botánica arbustiva en la huerta de temporal. La Estrella. Pénjamo. Gto.



Figura 3. Segundo nivel de formación de las pencas madre en la huerta de temporal. La Estrella. Pénjamo. Gto.

La mayor densidad de población que fue caracterizada como el tratamiento T-0 en la cual se trasplantaron 25,000 cladodios madre/ha con distancia de 20 cm entre cladodios, incremento la producción de pencas por planta y por unidad de superficie, ratificando con ello que la utilización de la densidad de siembra y el establecimiento de la huerta de temporal como estrategia agronómica recomendada para incrementar la producción de forraje verde de nopal forrajero es adecuada, pues permite mejorar la suplementación alimenticia del ganado y utilizar de forma eficiente y sustentable los recursos naturales durante todo el año. Figura 4.



Figura 4. Mayor densidad de población e incremento de la producción de pencas. La Estrella. Pénjamo. Gto.

CONCLUSIONES

La mayor densidad de población (T-0) incremento la producción de pencas por planta y por unidad de superficie, obteniendo 95% de establecimiento del cultivo a año y medios de edad del trasplante. La densidad de población y el establecimiento de la huerta de temporal de nopal forrajero, es una estrategia agrícola productiva que permite utilizar de manera eficiente y sustentable los recursos naturales e incrementar la producción de forraje y la suplementación alimenticia del ganado durante todo el año.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM) y a la Coordinación Sectorial de Fortalecimiento Académico (CoSFAc) por el apoyo en financiamiento otorgado a través del Programa de Innovación e Investigación Tecnológica y Educativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Flores, R. y García, P. (2003). Historia del Uso del Nopal en México y el Mundo. En: R. Samano (ed). Historia de la Agricultura en México. UACH. Chapingo, México.

García-Portuguez, J. E. (2024). Densidad de población y producción de nopal forrajero (*opuntia ficus-indica*) variedad copena-1 en condiciones de temporal. Memoria de resúmenes. XII Congreso Internacional XXVI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México.

Inglese, P., Mondragón, P. C., Netzaoui, A. y Saenz, C. (2018). Ecología del Cultivo, Manejo y Usos del Nopal. Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Centro Internacional de Investigación Agrícola en Zonas Secas (ICARSA). Roma. Italia.

Reveles-Hernández, M. y Flores-Ortiz., M. A. (2009). El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. Memorias. VIII. Simposium-Taller Nacional y 1º. Internacional. Producción y Aprovechamiento del nopal. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León. Monterrey. Disponible en: https://es.scribd.com/doc/228678298/Memorias-Produccion-y-Aprovechamiento-Del-Nopal Consultado: 8 Febrero 2024.

Santos, M. V. F., Dubeux Jr., J. C. B., Melo, J. N., Dos Santos, D. C., Farias, I. and Lira, M. A. (2006). Fertilization and plant population density effects on the productivity of Opuntia ficus-indica in northeast Brazil. Acta Hort. 728:189-192 Disponible en: http://www.actahort.org/books/728/728_26.htm Consultado: 28 Enero 2024.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ENTRE RAZAS BOVINAS BAJO CONDICIONES HOMOGÉNEAS DE MANEJO Y ALIMENTACIÓN

Karina Marlene Morales Ramírez[1]; María Guadalupe Alvarado Pescador[1]; Elisa Franco Vadillo[2]; Paula Itzel Hernández Pescador[1]; Roberto Carlos Rivera Cortez[2]. Autor de correspondencia: Roberto.rc@roque.tecnm.mx

[1]Estudiante de la carrera de Agronomía del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, [2]Docentes del TecNM-Roque

RESUMEN

El presente estudio es una evaluación técnico económica exploratoria que analiza la rentabilidad a partir de un estudio productivo de ocho razas bovinas destinadas a engorda bajo condiciones homogéneas de manejo, alimentación y sanidad, con el objetivo de identificar diferencias asociadas al desempeño biológico y su impacto en los costos de producción: La investigación se desarrolló en Apaseo el Grande Guanajuato, en un sistema intensivo de confinamiento total (feedlot), evaluando un ciclo productivo de 200 días dividido en dos etapas: desarrollo y finalización, cada uno con dietas específicas. Las razas evaluadas incluyeron Bos Taurus (Pardo suizo, Limousin, Simmenthal y Charoláis), Bos indicus (Brahman y sardo negro) y razas sintéticas (Beefmaster y Brangus). Los animales ingresaron al sistema con un peso promedio cercano a 200 kg y fueron evaluados cada 50 días. Las variables analizadas incluyeron ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, peso final, costo por kg producido, ingresos por venta en pie y en canal, así como indicadores económicos como margen bruto y relación costo-beneficio. El costo total por animar fue uniforme para todas las razas, lo que permitió una comparación económica válida. Los resultados evidencian diferencias claras en el desempeño productivo entre razas, reflejadas principalmente en la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia. Brahman, beefmaster y limousin presentaron los menores costos por kg producido, mientras que Sardo negro y Simmenthal mostraron los mayores costos unitarios. La raza Brangus destacó por su estabilidad productiva y mejor eficiencia al final del ciclo. Debido a la producción exclusiva por unidad por raza, los resultados presentan diferencias atribuidas al desempeño biológico y no a un estudio experimental, que a su vez presentan márgenes brutos negativos, tanto en venta en pie como en canal, debido a costos de alimentación y bajos precios del mercado. El estudio concluye que la elección de la raza influye significativamente en la rentabilidad del sistema de engorda y resalta la necesidad de optimizar dietas, mejorar la eficiencia alimenticia y acceder a mercados diferenciados para incrementar la rentabilidad.

Palabras clave: *rentabilidad, razas bovinas, costo de producción, eficiencia alimenticia, ganancia de peso*

INTRODUCCIÓN

Los análisis económico-comparativos tienen gran utilidad para evaluar opciones y alternativas en proyectos de producción, con el fin de determinar las opciones más convenientes desde diversos puntos de vista y así reducir la incertidumbre y el riesgo al tomar en cuenta las diversas características que intervienen en el manejo bajo distintas opciones o distintos escenarios. El análisis de razas bovinas bajo condiciones homogéneas de manejo y alimentación, es fundamental para optimizar la eficiencia productiva y económica. Dando a conocer el comportamiento de las características presentes a nivel taxonómico a partir del estudio de diversas especies disponibles en el mercado, evaluar de manera general la eficiencia técnica y económica conforme a la determinación del costo por unidad producida y el periodo de recuperación adecuado de cada una. El proyecto se desarrolló en Apaseo el Grande municipio que presenta clima estepario templado con temperatura media de 18.8°C, según la literatura el clima es un factor importante que influye en el desempeño animal según el genotipo de origen. Se proporcionaron dos dietas por ciclo de crecimiento, dieta de desarrollo y finalización a partir de la adquisición a la edad de seis meses de nacidos, con suministración de 100 días por dieta de desarrollo y 100 de finalización, la evaluación se dio al peso cada 50 días, las razas utilizadas del Bos Taurus; pardo suizo, limousin, simmental y charlolais, Bos índicus; brahman y sardo negro y de origen sintético a beefmaster y brangus. Los datos del presente trabajo muestran diferencias claras en ganancia de peso, consumo y eficiencia, aunque con comportamientos similares de porcentaje y eficiencia de ganancia en las primeras etapas de crecimiento. El mayor cambio observado se generó a partir de la segunda etapa de finalización y/o generación de masa muscular debido a la dieta suministrada Algunas razas mantuvieron un comportamiento más constante en la desaceleración del crecimiento conforme a la dieta de desarrollo, siendo las brangus la que generó mayor aprovechamiento a finalización. Cabe mencionar que la raza sardo negro tuvo un buen comportamiento al momento de la finalización, aunque no genera mayor importancia debido al pobre crecimiento presentado en el desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance comparativo y descriptivo-analítico, orientado a evaluar el desempeño productivo y económico de distintas razas bovinas bajo condiciones productivas similares. El análisis económico se realizó mediante la estimación de costos de producción, ingresos y rentabilidad, siguiendo metodologías validadas en estudios de comparación económica de razas y genotipos en sistemas pecuarios (Castro, 2024). El diseño experimental de la investigación fue no experimental, sino transversal, utilizando información productiva y económica correspondiente a un ciclo productivo de 200 días, criterio común en evaluaciones de eficiencia económica en ganadería bovina, sin manipulación directa de las variables (FAO, 2016 y 2018; Bolívar et al., 2016; Gillespie et al., 2023). Contrastar la estructura de costos de producción entre distintas razas bovinas ha sido ampliamente utilizado en estudios de análisis económico ganadero, ya que permite cuantificar los costos asociados a cada sistema productivo y relacionarlos con indicadores de desempeño técnico y financiero (Pérez, 2024). El estudio se contextualizó en sistemas de producción bovina comerciales, característicos de regiones tropicales y subtropicales de América Latina bajo

sistema estabulado en confinamiento total (Bailey et al, 2024). La unidad de análisis estuvo constituida por unidades de producción bovina que manejan animales de razas definidas o cruzamientos raciales, tanto de Bos taurus, Bos indicus, como biotipos intermedios. La selección se realizó mediante un muestreo intencional, en una explotación con registros productivos y económicos confiables, el manejo realizado fue homogéneo y condiciones ambientales similares. La selección de los terneros se da a un peso promedio de 200 kg o edad aproximada de 6 a 7 meses, éste peso es típico al momento del destete. Como lo mencionan estudios previos (Gazzarin et al., 2018). Éstos han demostrado que la comparación económica entre razas requiere controlar las diferencias de entorno y manejo para evitar sesgos en la interpretación de los costos y la rentabilidad, por lo que se decide por un sistema feetlot con el fin de reducir la variabilidad externa y permitir una comparación económica válida entre genotipos. El material biológico estuvo constituido por bovinos de distintas razas, seleccionadas con base en su importancia productiva, adaptabilidad y uso frecuente en sistemas comerciales. Estos animales de razas definidas o cruzamientos raciales, tanto de Bos taurus, Bos indicus, como biotipos intermedios. Las razas se manejaron bajo las mismas condiciones de alimentación, sanidad y manejo reproductivo, siguiendo criterios metodológicos recomendados para comparaciones económicas entre razas y cruzamientos (Castro, 2024), (FAO, 2016; Gazzarin et al., 2018). La unidad experimental estuvo representada por el animal individual, mientras que la unidad de análisis económico fue el sistema productivo por raza, expresado en términos de costos e ingresos por animal y por ciclo productivo.

La literatura señala que la raza influye significativamente en parámetros productivos como crecimiento, eficiencia alimenticia y madurez, los cuales impactan directamente en la estructura de costos (Greiner, 2024; Mădescu et al., 2023). Por ello se consideraron variables productivas comúnmente empleadas en estudios de eficiencia económica en ganado bovino, entre las que destacan: a) Pesaje por intervalos de 50 días, b) Estimación de ganancia diaria de peso (kg/día), c) Peso final al término del ciclo productivo, d) Producción total por animal, d) Eficiencia alimenticia

Estas variables son ampliamente utilizadas para explicar diferencias económicas entre razas, ya que inciden directamente en los costos e ingresos del sistema (Rojas-Juárez, 2024)

El análisis económico incluyó la estimación de los siguientes componentes:

a) Costos de producción

•Costos de alimentación (Dietas de desarrollo y finalizado)

•Costos sanitarios y veterinarios

•Costos de mano de obra

•Costos de pie de cría

•Costos indirectos y de administración

La clasificación de costos se realizó conforme a las directrices de análisis económico pecuario propuestas por la FAO y estudios clásicos de evaluación económica en ganadería (FAO, 2016)

b) Ingresos

Los ingresos se calcularon a partir del valor de venta del ganado en pie y en canal, considerando precios promedio de mercado vigentes para el periodo analizado, criterio común en evaluaciones económicas pecuarias

Indicadores de rentabilidad

Para la comparación económica entre razas se emplearon los siguientes indicadores:

•Costo de producción por unidad de producto

•Margen bruto (MB)

•Rentabilidad (%)

•Relación beneficio-costo (B/C)

Estos indicadores permiten evaluar de manera integral la eficiencia económica de cada raza dentro del sistema productivo, y son ampliamente recomendados en estudios de comparación económica de genotipos (Bailey et al, 2024). La información primaria se obtuvo mediante encuestas estructuradas, revisión de registros productivos y entrevistas semiestructuradas a los productores, metodología común en estudios de análisis de costos ganaderos. La información secundaria se obtuvo a partir de artículos científicos y reportes técnicos, los cuales permitieron validar los datos recolectados y contrastar los resultados con evidencias previas. Investigaciones en sistemas bovinos destacan que la combinación de fuentes primarias y secundarias incrementa la confiabilidad del análisis económico (Pérez, 2024; Meleán et al., 2019). El enfoque metodológico siguió criterios establecidos en investigaciones previas de comparación económica de razas y cruzamientos, donde la interpretación se fundamenta en la coherencia entre desempeño productivo y rentabilidad económica

El análisis de costos se realizó a partir del cálculo del costo total de producción y su expresión por unidad de producto (kg de peso vivo, kg de canal o litro de leche). Se estimaron indicadores económicos como margen bruto, utilidad neta, relación beneficio/costo y rentabilidad económica. Esta metodología ha sido validada en estudios comparativos de desempeño económico entre razas bovinas y cruzamientos, al permitir identificar diferencias en eficiencia financiera asociadas al genotipo y al sistema productivo (Reis et al., 2023).

Para evaluar las diferencias entre razas bovinas se aplicaron estadísticos descriptivos, así como análisis de correlación entre variables productivas y económicas. El uso de estas herramientas estadísticas es recomendado en estudios de economía animal, ya que permite determinar si las diferencias observadas en los costos y la rentabilidad son estadísticamente significativas y atribuibles al efecto racial (Gazzarin et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos, se realizó comparando ocho razas bovinas (Pardo Suizo, Limousin, Simmenthal, Charolais, Brahman, Sardo Negro, Beef-master, y Brangus) bajo condiciones homogéneas de manejo, alimentación, sanidad, infraestructura y edad a la venta (200 días). De este modo, las diferencias observadas en costos, eficiencia productiva y margen económico se atribuyen principalmente al desempeño biológico y productivo de cada raza.

Cuadro1. Peso de cada raza en intervalos de 50 días

Raza / días	0	50	100	150	200
Pardo Suizo	238	328.67	419.33	510	600
Limousin	214	328.33	442.67	557	647
Simmenthal	210	288.67	367.33	446	536
Charolais	203	306	409	512	602
Brahman	234	337.67	441.33	545	635
Sardo Negro	220	294.67	369.33	444	534
Beefmaster	212	313.33	414.67	516	606
Brangus	195	288.33	381.67	475	588

Debido a las consideraciones anteriores el estudio evaluó dos etapas productivas diferenciadas en tiempo (100 días) y formulación en la dieta, definiéndose así, la etapa de desarrollo y la de finalización, con un peso estimado según la literatura de entre 450 y 550 kg. De aquí se analizaron la ganancia de peso, la conversión y eficiencia alimenticia, así como el costo total por animal y su relación con el ingreso final por venta.

Análisis de costos. Debido a la homogeneidad del tratamiento de las razas, el costo total por animal fue uniforme para todas las razas, con un valor de $53,824.97, lo cual garantiza la comparabilidad del análisis económico. Este costo incluye: 1) Costo inicial del becerro, 2) Alimentación y suplementación en ambas etapas, 3) Mano de obra, agua y energía, 4) Costos sanitarios, 5) Depreciación de instalaciones.

Cuadro 2. Costo por kilogramo producido

Parámetro/razas	Pardo Suizo	Brahman	Sardo Negro	Limousin	Beefmaster	Simmenthal	Charolais	Brangus
Costo por kg Producido	90.19	83.64	100.96	89.89	85.22	101.33	89.29	92.03

Las razas Brahaman, Beef-master y limousin observaron un menor costo por kilogramo producido, Zardo negro y simmental con mayor costo por kilogramo, siendo el último el más deficiente la mitad del ciclo productivo.

Estos resultados evidencian que razas con mejor conversión alimenticia y mayor ganancia diaria de peso logran diluir los costos fijos, reduciendo el costo unitario por kilogramo producido.

Cuadro 3. Ganancia diaria de peso tanto en desarrollo como en finalización.

Parámetro/razas	Pardo Suizo	Brahman	Sardo Negro	Limousin	Beefmaster	Simmenthal	Charolais	Brangus
Ganancia diaria de peso (GDP)desarrollo	1.81	2.29	1.57	2.06	2.07	1.49	2.03	1.87
Ganancia diaria de peso (GDP)finalización	1.81	2.04	1.69	1.93	1.94	1.65	1.91	2.06

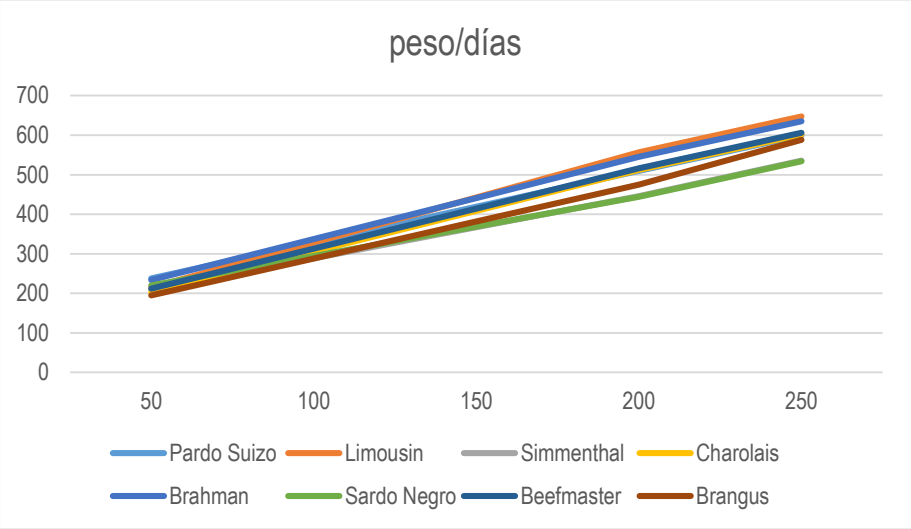


Figura 1. Regresión de ganancia de peso por días de edad por raza

En cuanto a la ganancia de peso Limousin, Brahman, Beefmaster fueron los mejores al mantenerse al alza en la etapa de desarrollo y la primera parte de la finalización, Brangus y Sardo Negro se mantienen y detonan ganancia de peso en la última etapa.

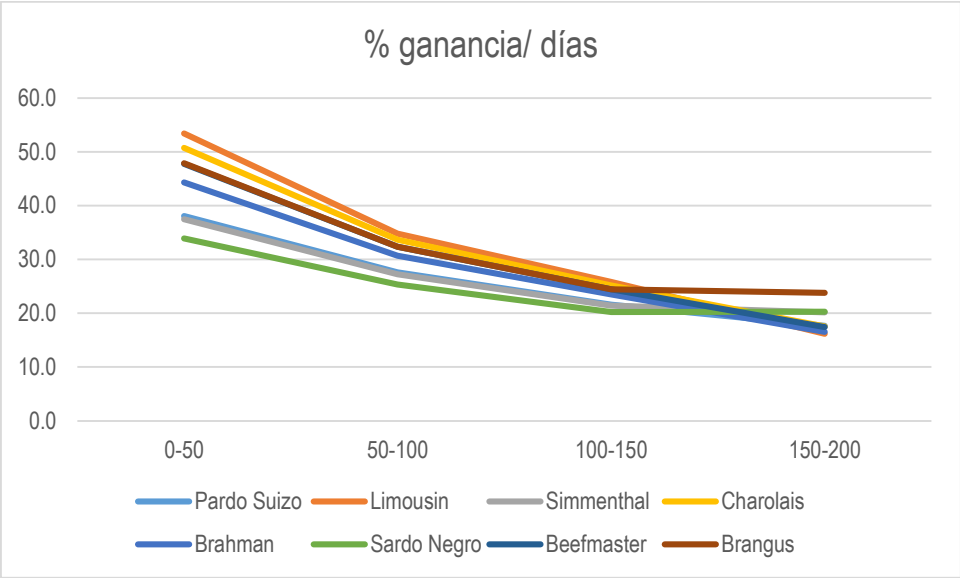


Figura 2. Porcentaje de ganancia de peso por días de edad por raza

El porcentaje de conversión del alimento en peso refleja el mismo comportamiento en la mayoría exceptuando Brangus, Sardo Negro y Simmental en la última etapa, siendo el primero el más eficiente de manera general y los otros dos más deficientes solo al final del ciclo.

Cuadro 4. Ingreso de venta en pie y en canal

Parámetro/ Razas	Pardo Suizo	Brahman	Sardo Negro	Limousin	Beef master	Simmenthal	Charolais	Brangus
ingreso de venta por animal en pie	47,400.0	51,113.0	42,344.0	47,558.0	50,165.0	42,186.0	47,874.0	46,452.0
Ingreso de venta en canal	35,640.0	38,431.8	31,838.4	35,758.8	37,719.0	31,719.6	35,996.4	34,927.2

Los ingresos por venta se calcularon en función del peso final alcanzado y en base a precios de mercado establecidos, tanto en pie como en canal.

Cuadro 5. Margen neto de ganancia en pie y en canal.

Parámetro/ Razas	Pardo Suizo	Brahman	Zardo Negro	Limousin	Beefmaster	Simmental	Charolais	Brangus
Margen neto Por animal en pie	-6,711.9	-2,998.9	-11,767.9	-6,553.9	-3,946.9	-11,925.9	-6,237.9	-7,659.9
Margen neto por animal en canal	-18,471.9	-15,680.1	-22,273.5	-18,353.1	-16,392.9	-22,392.3	-18,115.5	-19,184.7

Al considerar el margen neto por animal con la venta en pie, todas las razas presentaron valores negativos, debido a la conversión negativa de la dieta y a la estimación por unidad específica. Los valores del canal se refieren a pérdidas de hasta 45 % en peso por ayuno, encierro, transporte y desbaste según (Canozzi et al. 2020 y Servín Maldonado 2016).

Cuadro 6. Costo beneficio en pie y en canal

Proyección por unidad	Pardo Suizo	Brahman	Sardo Negro	Limousin	Beef master	Simmenthal	Charolais	Brangus
1	- 6,711.9	- 2,998.9	- 11,767.9	- 6,553.97	- 3,946.97	- 11,925.9	- 6,237.97	- 7,659.97
2	18,512.1	25,938.1	8,400.10	18,828.1	24,042.1	8,084.10	19,460.1	16,616.1
Proyección por unidad en canal	Pardo Suizo	Brahman	Zardo Negro	Limousin	Beef master	Simmental	Charolais	Brangus
1	-18,471.9	- 15,680.1	- 22,273.5	- 18,353.1	- 16,392.9	- 22,392.3	- 18,115.5	- 19,184.7
2	- 5,007.9	575.7	- 12,611.1	- 4,770.3	- 849.9	- 12,848.7	- 4,295.1	- 6,433.5

Ya con la estimación por unidad agregada los valores presentan costo beneficio en promedio del 150 % por unidad extra. Al final del estudio los resultados muestran que para el municipio de Apaseo el Grande en el Estado de Guanajuato las razas presentan en lo general diferentes comportamientos: a) Brangus; destaca por su mejor balance entre eficiencia alimenticia, ganancia de peso y menor costo por kg producido, b) Limmousin y Brahman; presentan altos porcentajes de ganancia de peso, especialmente en etapas tempranas, c) Sardo Negro y Simmenthal; exhiben menor eficiencia productiva y mayores costos unitarios. Además, el precio de venta del kilogramo en pie resulta insuficiente para cubrir los costos totales, lo que resalta la importancia de mejorar la eficiencia alimenticia, optimizar las dietas y acceder a mejores precios de mercado.

CONCLUSIONES

Aún y cuando las diferencias observadas se atribuyen principalmente al desempeño biológico, el principio experimental no puede ser afirmado con exactitud debido a que sólo se contó con una sola unidad experimental por raza bajo las mismas condiciones de producción. La elección de la raza tiene un impacto significativo en la rentabilidad del engorde bovino. Razas con mejor conversión alimenticia y mayores ganancias diarias reducen el costo por kilogramo producido y mejoran el desempeño económico, además el tipo de carne y factores de clasificación para mercados especializados pueden ayudar a mejorar el margen de ganancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bailey L. Basiel, Jonathan A. Campbell, Chad D. Dechow and Tara L. Felix (2024) The impacto f sire brred on feedlot performance and carcass characteristics of beef x Holstein steers. Translational Animal Science .

Bolívar, H., Trocóniz, J., & Ruiz, A. (2016). Diseño y evaluación de una estructura de costos de la ganadería bovina en el estado Barinas, Venezuela. Saber, 28(4), 617–629.

Canozzi, M. E et al (2016) Duración del ayuno y lugar de espera pre-faena en vacunos Revista INIA 60, 13-17

Castro, R. C., & Cueva, M. A. (2024). Comparación productiva y económica entre dos razas bovinas, Aberdeen Angus y Bonsmara. Universidad Nacional de Córdoba.

FAO. (2016). Economic analysis of animal diseases. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 18. Roma, Italia.

FAO. (2018). Guidelines for the measurement of productivity and efficiency in agriculture. Roma, Italia.

Gazzarin, C., Banda, M. C., & Lips, M. (2018). A comparison of economic performance between high-yielding temperate breeds and zebu-crossbreds on smallholder dairy farms. Tropical Animal Health and Production, 50(5), 1211–1221. https://doi.org/10.1007/s11250-018-1590-y

Gillespie, J., Whitt, C., & Davis, C. (2023). Structure, management practices, and production costs of U.S. beef cow-calf farms (ERR-321). USDA Economic Research Service.

Greiner, S. P. (2024). Beef cattle breeds and biological types. Virginia Tech Extension.

Mădescu, B. M., Lazar, R., Matei, A. C., & Boisteanu, P. C. (2023). Research on the economic advantages of breeding Aubrac beef cattle: A review. Scientific Papers. Series D. Animal Science, 66(2), 378–387.

Meleán Romero, R., Ferrer, M. A., & Campos Trigoso, J. A. (2019). Gestión de costos de producción en ganadería bovina. Revista de Ciencias Sociales, 25(4), 245–258.

Morales, Marlene (2026) Evaluación técnica – económica del programa de alimentación por etapas en engorda bovina del rancho doble c. Tesis. Tecnológico Nacional de México-Roque

Pérez, S. A. (2024). Estructura de costos e indicadores económicos ganaderos de cría bovina: análisis de 2012 a 2024. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas, 33(2), 1–18. https://doi.org/10.30972/rfce.3327901

Rojas-Juárez, L. A., Jaramillo-Villanueva, J. L., Vargas-López, S., & Cabas-Monje, J. (2024). Competitividad y ventaja comparativa de sistemas de producción de ganado bovino de carne en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 15(4), 879–896. https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i4.6530

Servín Maldonado, E (2016). Pérdidas de peso por desbaste de ganado bovino en el Chalco Central (trabajo de grado) Universidad Nacional de Asunción Paraguay.

FORESTAL

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

MEJORAMIENTO DEL POTENCIAL GERMINATIVO DE SEMILLA DE PALO BLANCO (*Lysiloma candidum*)

Iris Jocelyn Rodriguez Robles[1]; Roberto Carlos Rivera Cortez[2]; Juan Pablo Ruiz Franco[3]; Elisa Franco Vadillo[2]; Ma.de Lourdes López Orozco[3]

[1]Estudiante de agronomía del Tecnologico Nacional de México-Roque, [2]Docentes del Departamento de Ciencias Agropecurias, [3]Emprendedor y Jefe del Vivero municipal de Celaya. Autor de correspondencia: Jocy.rdz0502@gmail.com

RESUMEN

El osmoacondicionamiento es una técnica pregerminativa que mejora la velocidad y uniformidad de la germinación en semillas forestales. En este estudio se evaluó el efecto del osmoacondicionamiento con diferentes tratamientos pregerminativos en semillas de palo blanco (*Lysiloma candidum*), especie forestal nativa de zonas áridas y semiáridas de México cuya propagación se ve limitada por la dormancia física de la testa. El trabajo permitió identificar el método más eficiente para el incremento del porcentaje de viabilidad y germinación de esta, a fin de optimizar su producción en vivero y su uso en programas de restauración ecológica. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y un testigo siendo estos: tratamiento 1 escarificación mecánica, tratamiento 2 escarificación térmica, tratamiento 3 remojo en agua a temperatura ambiente, tratamiento 4 remojo en ácido giberélico (GA3) Y testigo que fue siembra directa, con cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. Se evaluaron variables de porcentajes de vigor germinativo a los 3 días y germinación a los 5 días después de la siembra. En el tratamiento 1 de escarificación mecánica tanto en vigor como en germinación se obtuvo un 99% y 100% de germinación, en el tratamiento 2 y tratamiento 4 se obtuvieron resultados similares de un 60% y 70% germinación, en el tratamiento 3 se obtuvo un 70% de germinación en las 4 repeticiones y en el testigo se obtuvo una baja germinación y bajo vigor germinativo.

Palabras clave: *osmoacondicionamiento, germinación, vigor germinativo, semillas forestales, lysiloma candidum*

ABSTRACT

Osmoconditioning is a pregerminative technique that improves the speed and uniformity of germination in forest seeds. In this study, the effect of osmoconditioning with different pregerminative treatments was evaluated in seeds of the palo blanco tree (Lynsiloma candidum), a forest species native to the arid and semi-arid regions of Mexico whose propagation is limited by the physical dormancy of the seed caused by the seed coat. The study made it possible to identify the most efficient method for increasing the percentage of seed viability and germination in order to optimize its nursery production and its use in ecological restoration programs.

A completely randomized design was used with four treatments and one control: treatment 1, mechanical scarification; treatment 2, thermal scarification; treatment 3, soaking in water at room temperature; treatment 4, soaking in gibberellic acid (GA3); and the control, which consisted of direct sowing, with four replicates of 100 seeds each. Variables evaluated included germination vigor percentage at 3 days and germination percentage at 5 days after sowing. In treatment 1, both vigor and germination reached 99% and 100%, respectively. Treatments 2 and 4 showed similar results, with 60% and 70% germination. Treatment 3 showed 70% germination in all four replicates, while the control showed low germination and low germination vigor.

Keywords: *germination, osmopriming, forest sedes, Lysiloma candidu, dormancy*

INTRODUCCIÓN

El Palo Blanco (*Lysiloma candidum*) es una especie forestal nativa de zonas áridas y semiáridas de México, ampliamente utilizada en programas de restauración y reforestación debido a su adaptación a condiciones de sequía, su rápido crecimiento y su importancia ecológica en la recuperación de suelos degradados. Sin embargo, la propagación de esta especie se ve limitada por la dormancia presente en sus semillas, característica común en muchas leguminosas, la cual restringe la absorción de agua y retrasa el proceso de germinación (Baskin & Baskin, 2014).

Para superar esta barrera fisiológica, se han desarrollado diversas técnicas de osmoacondicionamiento y escarificación, que permiten mejorar el porcentaje y la velocidad de germinación. Métodos como la escarificación mecánica, térmica, el remojo en agua y la aplicación de reguladores de crecimiento han demostrado ser efectivos en diferentes especies forestales, al romper la impermeabilidad de la testa o al activar procesos metabólicos asociados a la germinación (Hartmann *et al*., 2011). Entre estos reguladores, el ácido giberélico (GA_3) se ha utilizado ampliamente por su capacidad para estimular la elongación celular y promover la emergencia de la radícula en semillas con latencia parcial (Taiz et al., 2015). El objetivo consistió en determinar tratamientos de osmoacondicionamiento para promover la germinación de Palo Blanco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrollo en el vivero del Tecnológico Nacional de México-Roque, el cual se ubica en el km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, a una altura de 1775 msnm, con temperatura media anual de 18°C y una precipitación de 600 a 800 mm anuales. La colecta de las semillas maduras de Lyndiloma candidum recolectadas de árboles sanos; las cuales fueron almacenads en condiciones ambientales hasta el momento del establecimiento del experimento. Las pruebas de germinación se llevaron de acuerdo a la normatividad de

la ISTA. Los osmoacondicionadores se empleó el Polietilenglicol (PEG 6000 o 8000), Utilizado al 20% como osmoacondicionador el Nitrato de potasio (KNO_3), AG_3, a una concentración de 0.2 M para estimular la germinación. Utilizado a 500 ppm para romper la latencia fisiológica y promover el crecimiento. Los tratamientos evaluados consistieron en: T1 (escarificación mecánica): incisión localizada con bisturí o lijado suave para eliminar parcialmente la testa sin dañar el embrión, T2 (escarificación térmica): colocar las semillas en agua a 80 - 90 °C durante 1 minuto, retirar y dejar reposar en agua a temperatura ambiente por 24 horas, T3 (remojo en agua a temperatura ambiente): sumergir las semillas en agua por 24 horas, T4 (GA_3): preparar solución a 250 ppm de ácido giberelico. Remojar las semillas durante 24horas en la solución, T0 (siembra directa): semillas sin pretratamiento. Se colocaron directamente en hojas empleados como papel germinador humedecidas.

Las semillas maduras de *Lynsiloma candidum* serán recolectadas de arboles sanos y vigorosos, seleccionando únicamente aquellas que presenten uniformidad en tamaño, color y ausencia de daños físicos o fitopatológicos. Posteriormente, las semillas serán limpiadas manualmente para eliminar impurezas y restos de vainas. Inicialmente se determinó el peso de 100 semillas utilizando una balanza analítica, con el propósito de obtener un parámetro inicial de calidad fisiológica. Después, las semillas se dejarán secar al aire libre durante 24 horas a temperatura ambiente y nuevamente se registrará su peso final para estimar la perdida de humedad. Antes de aplicar los tratamientos pregerminativos, las semillas serán desinfectadas mediante inmersión en una solución de captan al 1% durante 5 minutos, con la finalidad de prevenir contaminación por hongos y bacterias durante la germinación. Posteriormente, las semillas serán enjuagadas con agua destilada y secadas superiormente con papel absorbente. Durante los tratamientos osmóticos, las semillas permanecieron completamente sumergidas en recipientes de plástico o vasos de precipitados de 250ml, manteniéndose a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). las soluciones fueron agitadas periódicamente para asegurar homogeneidad y contacto uniforme con semillas.

El diseño experimental fue un completamente al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones (100 semillas por repetición). Los tratamientos fueron: T1 escarificación mecánica; (lijado suave para eliminar parcialmente la testa sin dañar el embrión), T2 escarificación térmica: colocar las semillas en agua a 80 - 90 °C durante 1 minuto, retirar y dejar reposar en agua a temperatura ambiente por 24 hr), T3 (imbibición en agua durante 24 hr), T4 (AG_3): solución a 250 ppm de ácido giberelico, imbibición durante 24 hr, T5 (siembra directa): semillas sin pretratamiento. Se colocan directamente en papel germinador humedecidas. Las variables evaluadas fueron: Porcentaje de germinación (%), Tiempo medio de germinación (días), Longitud de radícula y plúmula.

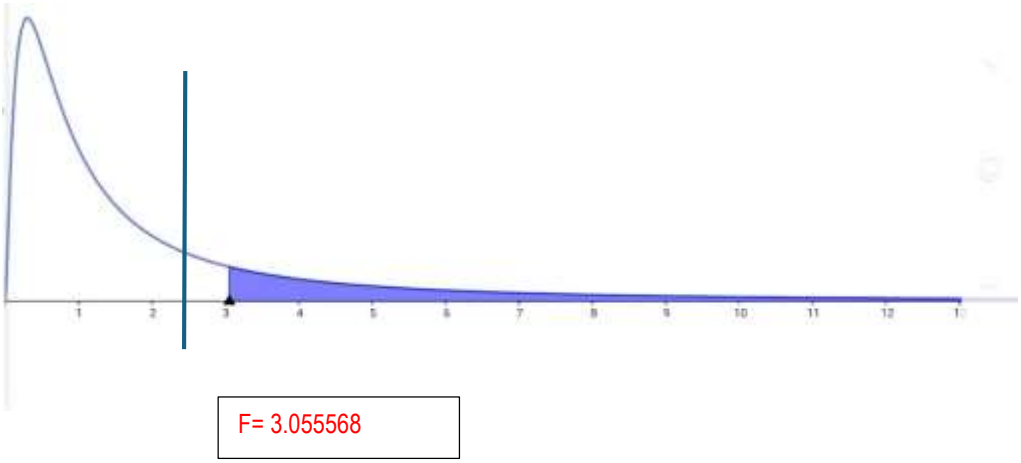
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se confirma con el 95% de confiabilidad en el anova que existe diferencia significativa entre al menos el porcentaje de germinación y vigor al menos 1 tratamiento y el testigo, ya que entre la F calculada (77.6) cae dentro del área posterior a la F de tablas (3.55).

Cuadro 1. Análisis de varianza de la germinación de palo blanco.

FV	gl	Suma Cuadrados	Cuadrados medios	F	Prob	Valor critico F
Entre grupos	4	18010.2	4502.55	77.63	7.7221^{E-10}	3.0555
Dentro de los grupos	15	870	58			
Total	19	18880.2				

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, F= Valor de valor calculado



En cuanto a osmoacondicionamiento el tratamiento 2 presentó mejores resultados para vigor germinativo con un valor de 82.7% y un 94.2% de germinación debido al ablandamiento de la testa debido a los rangos de temperatura aplicados a la testa de la semilla. El tratamiento 4 presentó valores de 62.7 % de vigor germinativo y 63.7% de germinación debido a la aplicación de ácido giberelico como agente promotor. El tratamiento 3 presenta un vigor germinativo de 55% y 63% de germinación. Todos estos tomando en cuenta que no se realizó extracción de la testa o modificación de la misma en ninguno de los tratamientos. El tratamiento 1 (escarificación mecánica) tuvo la mejor respuesta tanto en vigor germinativo como porcentaje de germinación con valores de 99% y 100% respectivamente.

CONCLUSIONES

La escarificación mecánica se considera la mejor alternativa para romper la dormancia en semillas de palo blanco (*Lynsiloma candidum*), debido a su efectividad, rapidez y bajo costo. Este método debilita de forma controlada la testa dura e impermeable, facilitando la imbibición de agua y oxígeno, lo que promueve una germinación mas uniforme y en menor tiempo. A diferencia de tratamientos químicos o térmicos, la escarificación mecánica no implica riesgos de toxicidad, daños fisiológicos ni requerimientos de insumos especializados, por lo que resulta más segura, económica y fácil de aplicar tanto en laboratorio como en vivero. Por ello, representa una técnica practica y sostenible para mejorar el establecimiento de plántulas y optimizar la producción de esta especie forestal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kumagai H; Nakamura K; Yano TT (1991). Rate analysis of freeze drying of a model system by a uniformly retreating ice front model. Agric. Biol. Chem. 55: 731-736. Artículos electrónicos

Hendrix JE (2002). Production-Related Assimilate Transport and Partitioning. In: Pessarakli M (Editor). Handbook of Plant and Crop Physiology. Chapter 20. Food Engineering and Process Applications. Volume 1. 1st. edition. Elsevier. ISBN: 0-8247-0546-7. London & New York. pp. 421-448. Libros

Aboites MG (2012). Semillas, Negocio y Propiedad Intelectual. Tomando como Estudio de Caso al Maíz en México.Reimpresión 2012. Editorial Trillas, México. 184 p.Tesis

Gallardo-López D (1999). Muestreo bayesiano en robots móviles. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España. http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=2760 PatentesLinch F (1978). Single-effect microevaporator. Patent 4873512. USA.

Ruvalcaba-Ruiz D; Rodríguez-Garay B (23 octubre 2002). Aberrant meiotic behavior in Agave tequilana Weber var. Azul. BMC Plant Biology [online] Vol. 2, Art. # 10. http://www.biomedcentral.com/bmcplantbiol/2>, ISSN 1471-2229. Consulta: Enero 15, 2003. Capítulo de libro

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

REFORESTACIÓN CON ESPECIES NATIVAS: UNA EXPERIENCIA COMUNITARIA ENFOCADA A LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Eduardo J. Moguel-Ordoñez[1]; Nelly del C. Jiménez-Pérez[1]; Coral J. Pacheco-Figueroa[1]; Juan de D. Valdez-Leal[1]; Lilia Gama-Campillo[1]; Ena E. Mata-Zayas[1]

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Autor de correspondencia: emoguel@ujat.mx

RESUMEN

Dentro de los servicios ecosistémicos de la vegetación, en el estado de Tabasco sobresale la protección de la franja costera, la cual debido a su baja altitud (menos de 1.0 msnm) está expuesta a la erosión costera y elevación del nivel del mar por efecto del cambio climático, en cuyo escenario al año 2100, se proyecta que poco más del 20% de la superficie del estado se inunde. Este estudio, proyectado a diez años, se inició en la Comunidad El Guayo 2da, Sección, en Comalcalco, Tabasco, la cual está en los límites del área a ser afectada por las inundaciones y erosión costera en el escenario 2100, buscando identificar los conocimientos que la comunidad tiene sobre el cambio climático y sus efectos, así como los servicios ambientales que proporciona la vegetación, en especial sobre la mitigación a los efectos del cambio climático y, a partir de estos, implementar estrategias que permitan sensibilizar a la población y fortalecer los servicios ecosistémicos. Se efectuaron entrevistas y talleres comunitarios, estableciéndose además una parcela demostrativa con especies arbóreas nativas en una zona colindante a humedales y cacaotales, buscando sea un espacio de sensibilización y concientización sobre la importancia de la vegetación arbórea en la mitigación de los impactos del calentamiento global. Las entrevistas evidenciaron que los pobladores tienen escaso conocimiento de la vulnerabilidad de la zona a los efectos del cambio climático, aunque si identifican los servicios ambientales que proveen los ecosistemas, identificándose 7 servicios de regulación, 8 de provisión, 4 de soporte y 4 culturales. Con participación mayoritaria de mujeres, la parcela demostrativa de reforestación, en sus etapas iniciales, ha fungido como un espacio para sensibilizar y capacitar a los pobladores en el fomento de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en la zona.

Palabras clave: *cambio climático, erosión costera, servicios ecosistémicos, reforestación, Tabasco*.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE UREA, MICRONUTRIENTES Y COBRE SOBRE EL CRECIMIENTO Y BROTACIÓN DE MEZQUITE

Melisa Villegas-Vazquez[1]; Carlos Moises Paredes-Rodriguez[1]; José David Ochoa-Mancera[1]; Ernesto Lopez-Garcia[1]; Miguel Ángel Sanchez-Olvera[1]; Guillermo Martínez Rodríguez[1]; Francisco Chablé Moreno*

[1]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-campus Roque Departamento de Ciencias Agropecuarias, [2]Tecnologico Nacional de México-Roque. Departamento de Ciencias Agropecuarias, [3]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-campus Roque Departamento de Ciencias Agropecuarias, [4]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-campus Roque Departamento de Ciencias Agropecuarias, [5]Estudiante de Ingeniería en Agronomía TecNM-campus Roque Departamento de Ciencias Agropecuarias. **Autor de correspondencia:* fchable4oct@gmail.com

RESUMEN

El mezquite (*Prosopis laevigata* L.) es una especie forestal de gran importancia ecológica, económica y social en las zonas áridas y semiáridas de México, debido a su capacidad de adaptación a condiciones de baja disponibilidad de agua, altas temperaturas y suelos pobres. Además de contribuir a la conservación del suelo y la fijación de nitrógeno, esta especie proporciona forraje, madera y alimento, siendo fundamental en procesos de restauración ambiental. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización química con urea, microelementos y cobre sobre el desarrollo de plantas de mezquite en condiciones de cultivo en Guanajuato. La investigación se realizó en el Tecnológico Nacional de México campus Roque, utilizando un diseño experimental completamente al azar con 2 y 3 plantas por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron diámetro de tallo, altura de planta y número de brotes. Los resultados mostraron que el Tratamiento 1, compuesto por 1 g de urea, 0.5 g de microelementos y 0.5 g de cobre, presentó los mayores valores en diámetro de tallo y altura de planta, evidenciando un mejor desarrollo vegetativo. En cuanto al número de brotes, el Tratamiento 2 mostró los mejores resultados al final del experimento. Se concluye que la fertilización química favorece significativamente el crecimiento y vigor del mezquite, mejorando sus características morfológicas y aumentando su potencial de crecimiento y desarrollo en programas de reforestación y restauración ecológica.

Palabras clave: *Prosopis laevigata, Fertilización química, Desarrollo vegetativo*

ABSTRAC

Mesquite (Prosopis laevigata) is a forest species of great ecological, economic, and social importance in the arid and semi-arid regions of Mexico, due to its ability to adapt to conditions of low water availability, high temperatures, and poor soils. In addition to contributing to soil conservation and nitrogen fixation, this species provides forage, timber, and food, making it fundamental in environmental restoration processes. This study aimed to evaluate the effect of chemical fertilization with urea, micronutrients, and copper on the development

of mesquite plants under cultivation conditions in Guanajuato. The research was conducted at the National Technological Institute of Mexico, Roque Campus, using a completely randomized experimental design with three blocks of two and three plants per experimental unit. The variables evaluated were stem diameter, plant height, and number of shoots. The results showed that Treatment 1, composed of 1 g of urea, 0.5 g of micronutrients, and 0.5 g of copper, exhibited the highest values for stem diameter and plant height, demonstrating improved vegetative development. Regarding the number of shoots, Treatment 2 showed the best results at the end of the experiment. It is concluded that chemical fertilization significantly promotes the growth and vigor of mesquite, improving its morphological characteristics and increasing its potential for reforestation and ecological restoration programs.

Keywords: *Prosopis laevigata, Chemical fertilization, Vegetative development*

INTRODUCCIÓN

El mezquite, especialmente la especie (*Prosopis laevigata* L.), es uno de los recursos forestales más valiosos en las zonas áridas y semiáridas de México. Su capacidad para adaptarse a condiciones de escasa lluvia, suelos poco fértiles y altas temperaturas lo hace destacar. En el país, esta especie tiene un papel crucial en términos ecológicos, económicos y sociales, ya que ayuda a conservar el suelo, fija nitrógeno, produce forraje y se utiliza para la obtención de madera. Además, sus vainas son un recurso alimenticio tanto para animales como, en algunas regiones, para el consumo humano. Varios estudios han demostrado que el mezquite es fundamental en la restauración de ecosistemas degradados y en la mejora de la fertilidad del suelo, gracias a su habilidad para retener nutrientes, disminuir la erosión y promover la acumulación de materia orgánica en las áridas y semiáridas regiones de México (Frías-Hernández *et al*., 1999). En Guanajuato, el mezquite es una parte esencial de la vegetación natural en las áreas semiáridas, contribuyendo al equilibrio ecológico y a la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, el uso excesivo, el cambio en el uso del suelo y la degradación ambiental han llevado a una disminución significativa de las poblaciones naturales de esta especie. En varios municipios del centro del país, incluyendo las zonas semiáridas de Guanajuato, se ha documentado la relevancia del mezquite en los procesos hidrológicos y en la protección del suelo contra la erosión, gracias a su capacidad para adaptarse a condiciones de humedad limitadas (Mastachi-Loza *et al*., 2010). Además, este árbol crea “islas de fertilidad” bajo su copa, lo que favorece la acumulación de materia orgánica y nutrientes esenciales para otras plantas (Frías-Hernández *et al*., 1999). Dada la importancia ecológica y productiva del mezquite, en los últimos años se han llevado a cabo investigaciones para mejorar su crecimiento y establecimiento. De tal manera el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con urea, micro elementos y cobre en el crecimiento y desarrollo del mezquite en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Tecnológico Nacional de Mexico campus Roque. Donde se realizó el transplante de plantas chicas medianas y grandes de mezquite, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización sobre su desarrollo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar empleando 2 y 3 plantas por tratamiento. Los tratamientos evaluados fueron: T1 = 1 g de urea + 0.5 g de microelementos + 0.5 g de cobre; T2 = 0.5 g de urea + 0.5 g de microelementos + 0.5 g de cobre; y T3 = testigo absoluto

La aplicación de los fertilizantes se realizó directamente en cada unidad experimental de acuerdo con las dosis establecidas para cada tratamiento. Todas las plantas recibieron el mismo manejo agronómico durante el desarrollo del experimento, incluyendo riego y monitoreo constante de las condiciones de crecimiento. Durante el periodo experimental se evaluó el crecimiento y desarrollo de las plantas de mezquite, observando la respuesta de cada tratamiento en comparación con el testigo. Posteriormente, los datos obtenidos fueron organizados y analizados para determinar el efecto de la fertilización con urea, microelementos y cobre sobre el desarrollo del cultivo, ha que para ello se midieron las siguientes variables diámetro de tallo, número de brotes y altura de planta, para la altura se utilizó un flexómetro (Truper) y para el diámetro se utilizó un vernier mecánico (Truper).

Los datos de las variables evaluadas se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) mediante un diseño experimental completamente al azar, cuando el ANAVA presentó diferencias significativas se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey α 0.05), con el paquete estadístico SAS Systems for Windows 9.2 (2002)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la variable diámetro de tallo, el Tratamiento 1 presentó los valores más altos durante todo el periodo de evaluación, alcanzando 13.29 mm al día 40, mientras que el tratamiento testigo mostró los valores más bajos. Esto indica que la aplicación de urea, micronutrientes y cobre favoreció el crecimiento vegetativo del mezquite, posiblemente debido a una mayor disponibilidad de nitrógeno y elementos esenciales involucrados en la división y elongación celular. Estos resultados coinciden con lo reportado por Gómez-Romero *et al*., (2025), quienes encontraron que la fertilización orgánica incrementó significativamente el diámetro y altura en plantas de mezquite en vivero. Asimismo, Cervantes-Rodríguez *et al*., (2018) mencionan que un adecuado manejo nutricional y del sustrato mejora considerablemente el desarrollo morfológico de Prosopis laevigata.

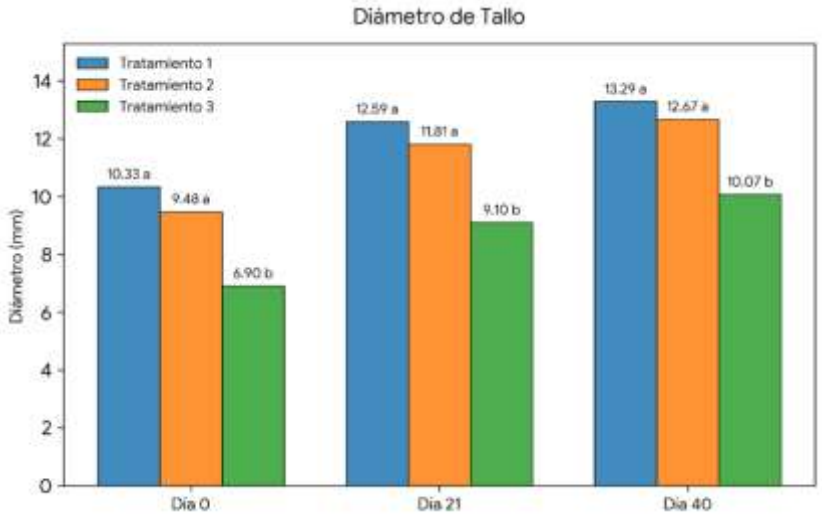


Figura 1. Respuesta del diámetro del tallo en plántulas de mezquite a diferentes dosis de fertilización

Respecto a la altura de planta, el Tratamiento 1 nuevamente presentó el mayor crecimiento, alcanzando 109.57 cm al día 40, mientras que el tratamiento testigo registró solamente 72.49 cm. Este comportamiento demuestra que la combinación de nutrientes aplicada estimuló el crecimiento apical y el desarrollo general de las plantas. El nitrógeno contenido en la urea es fundamental para la síntesis de proteínas y clorofila, lo que favorece una mayor actividad fotosintética y, por lo tanto, un incremento en el crecimiento vegetal. Resultados similares fueron observados por Gómez-Romero *et al*., (2025), quienes reportaron que la fertilización mejoró significativamente la altura de las plantas de mezquite. De igual manera, estudios sobre fertilización en especies vegetales han demostrado que dosis adecuadas de nutrientes incrementan el vigor y desarrollo de las plántulas.

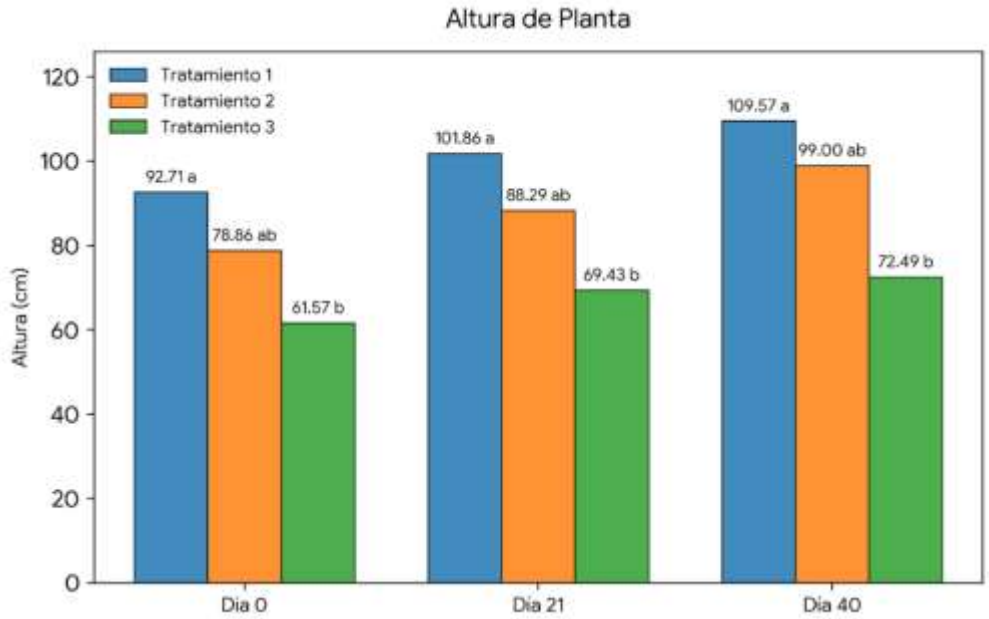


Figura 2. Efecto de la aplicación de urea, micronutrientes y cobre sobre la altura de planta de mezquite

En la variable número de brotes, el Tratamiento 1 mostró inicialmente el mayor promedio; sin embargo, al día 40 el Tratamiento 2 presentó el valor más alto con 5.14 brotes, mientras que el testigo mantuvo los valores más bajos. Esto sugiere que una dosis moderada de urea puede favorecer la emisión de brotes laterales, posiblemente porque evita excesos de nitrógeno que podrían concentrar el crecimiento únicamente en el tallo principal. Los resultados evidencian que el manejo nutricional influye directamente en la capacidad de brotación y desarrollo vegetativo del mezquite. Cervantes-Rodríguez *et al*., (2018) mencionan que las condiciones de fertilización y manejo hídrico tienen efectos importantes sobre el crecimiento y vigor de las plantas forestales en vivero.

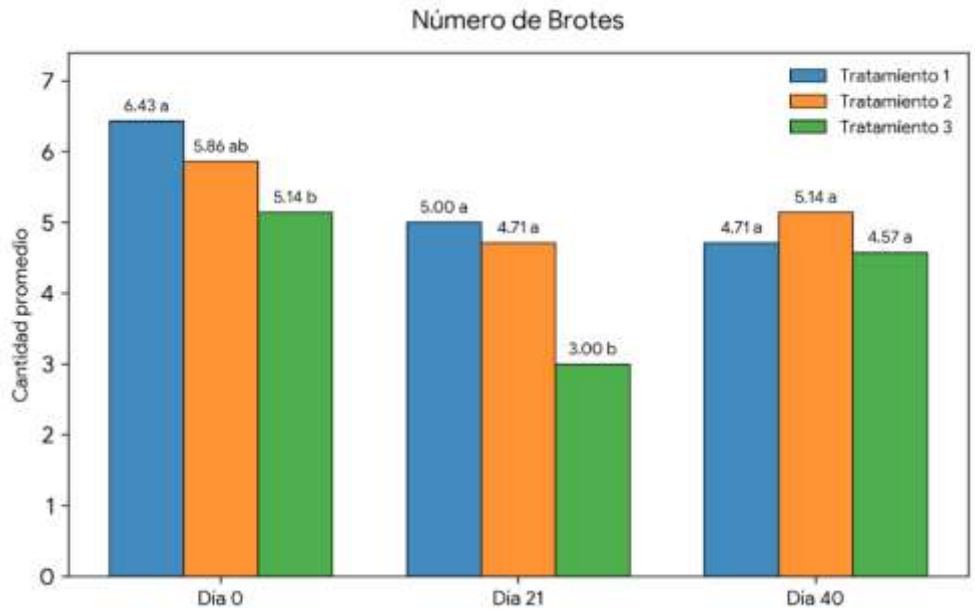


Figura 3. Efecto de la aplicación de urea, micronutrientes y cobre en el número de brotes en planta de mezquite.

Observaciones *in situ* de las plantas de mezquite se muestran que tienden a presentar ramas con crecimiento lateral hacia debajo de las ramas, su crecimiento es tan lento que ocasionalmente a pesar de una planta que soporta las sequías puede morir antes de su establecimiento y su desarrollo. Aunque en Guanajuato existen terrenos fértiles para la agricultura, no pasa desapercibido que especies de vegetales tienden a mostrar una curvatura en sus ramas principales sobre todo en las ramas principales del meristemo apical, en la figura 4 se muestrasn resultados de plántulas recién trasplantadas con aplicación de urea, sulfato de cobre pentahidratado y fertilizante foliar de micronutrimentos, estos al ser aplicados se obtuvo un crecimiento erecto y de mayor vigor en las plantas que se les aplicó el tratamiento.



Figura 4. Plantas de mezquite: a) Recién trasplantadas, b) plantas a los 40 días después del trasplante, c) plantas podadas y con tutor con crecimiento erecto, d) crecimiento erecto del brote apical de la planta de mezquite a los 40 ddt.

CONCLUSIONES

La fertilización con urea, microelementos y cobre favoreció significativamente el crecimiento del mezquite, principalmente en altura y diámetro de tallo. El Tratamiento 1 presentó los mejores resultados, demostrando que una adecuada nutrición mejora el desarrollo vegetativo de la planta. Además, el manejo nutricional influyó en la producción de brotes y en el vigor de la planta de mezquite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cervantes-Rodríguez, N., Prieto-Ruíz, J. A., Rosales-Mata, S., & Félix-Herrán, J. A. (2018). Crecimiento de mezquite en vivero bajo diferentes condiciones de sustrato, riego y retenedores de humedad. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 24(1), 17-32.

Frías-Hernández, J. T., Aguilar-Ledezma, A. L., Olalde-Portugal, V. (1999). Soil characteristics in semiarid highlands of central Mexico as affected by mesquite trees (Prosopis laevigata). Arid Soil Research and Rehabilitation, 13(3), 305-312.

Frías-Hernández, J. T., Aguilar-Ledezma, A. L., Olalde-Portugal, V., Balderas-López, J. A., Gutiérrez-Juárez, G., Alvarado-Gil, J. J., Castro, J., Vargas, H., Albores, A., Dendooven, L., & Miranda, L. C. M. (1999). *Soil characteristics in semiarid highlands of central Mexico as affected by mesquite trees (Prosopis laevigata).* Arid Soil Research and Rehabilitation, 13(3), 305-312. https://doi.org/10.1080/089030699263339

Gómez-Romero, M., et al. (2025). Respuestas morfológicas a la biofertilización y aplicación de enmiendas húmicas en plantas de mezquite (*Prosopis laevigata* L.). Revista Mexicana de Ciencias Forestales.

Martínez-Calderón, V. M., Rubalcava-Castillo, F. A., Torres-González, J. A., et al. (2024). Evaluation of addition of chemical and organic fertilizers to irrigation in the production of Prosopis laevigata. Forest Systems, 33(3), eSC03.

Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Becerril-Piña, R., & Braud, I. (2010). Pérdidas por intercepción en mezquite (Prosopis laevigata) y huizache (Acacia farnesiana) de la región semiárida del centro de México. Tecnología y Ciencias del Agua, 1(1), 71-84.

SAS. Statistical Analysis System. 2025. Software Release V 9.4. SAS/STAT®9.4. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

Villarreal, M., et al. (2018). Fertilización en plantas de mezquite para restauración forestal. Revista Mexicana de Ciencias Forestales.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620



Tecnologías de la Información y Comunicación Aplicadas a la Producción Agroalimentaria

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DEL PROCESO DE PORTALES ADMINISTRATIVOS PARA FACTURA AL CLIENTE (CASO TRESGUERRAS)

Brenda Jeanette Muñiz Martinez[1], María Eugenia Gallardo Rodríguez[2], Claudia Marilú Fuentes Gallardo[3], Laura Cupul Moreno[4], Wendy Mondragón Moreno[5], Erik Fabian Rodríguez Segura[6]

[1]Estudiante de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial; Tecnológico Nacional de México Roque, Carretera Celaya, Juventino Rosas, S/N, CP. 38110. Autor de correspondencia: brendajmm2001@gmail.com

RESUMEN

El presente proyecto investigativo, tiene como objetivo, analizar el proceso de gestión de facturación mediante la integración de sistemas entre los portales de CEVA Logistics y Tresguerras. Actualmente, este proceso se realiza de forma manual, lo que genera retrasos, errores con el fin de mejorar las áreas de oportunidad en la eficiencia operativa. A través de este proyecto, se propone una solución basada en la automatización de procesos, con el fin de optimizar tiempos, mejorar la precisión de la información y facilitar las actividades del área administrativa. Consiste en la integración entre los portales de AUTOTRANSPORTES DE CARGA TRESGUERRAS, S.A. DE C.V., y CEVA con el fin de automatizar la administración de facturas en el sistema del cliente. Actualmente, este proceso se realiza de manera manual, lo que genera retrasos y posibles errores en el registro de la información financiera. Mediante esta integración, se busca que las facturas generadas por CEVA se descarguen de forma automática y se registren directamente en el sistema de Autotransportes de Carga Tresguerras, S.A. DE C.V., permitiendo un mejor control, mayor eficiencia operativa y una gestión más ordenada de la información financiera. Este proyecto se enfoca en optimizar el proceso actual mediante la automatización de la gestión de facturas, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y reducir errores en la captura de información. Con lo anterior, En conclusión, se realizó un análisis que ayudo a identificar la importancia de la automatización dentro de los procesos administrativos, especialmente en actividades repetitivas como la gestión de facturación.

Palabras clave: *Calidad total, cliente, facturación, logística interna, proceso administrativo*

ABSTRACT

This research project aims to analyze the billing management process by integrating the systems of CEVA Logistics and Tresguerras. Currently, this process is performed manually, leading to delays and errors. The goal is to improve operational efficiency by identifying areas for improvement. This project proposes a process automation solution to optimize time, enhance data accuracy, and streamline administrative tasks. It involves integrating the portals of Autotransportes de Carga Tresguerras, S.A. DE C.V. and CEVA to automate invoice management within the client's system. The current manual process results in delays and potential errors in

recording financial information. This integration will automatically download invoices generated by CEVA and register them directly in the Autotransportes de Carga Tresguerras, S.A. system. DE C.V., enabling better control, greater operational efficiency, and more organized management of financial information. This project focuses on optimizing the current process by automating invoice management, with the aim of improving operational efficiency and reducing errors in data entry. In conclusion, an analysis was conducted that helped identify the importance of automation within administrative processes, especially in repetitive activities such as invoice management.

Keywords: *administrative process, customer, invoicing, internal logistics, total quality.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el proceso de administración de facturas entre los portales de TRESGUERRAS y CEVA se realiza de forma manual, lo que genera retrasos, errores en el registro de la información, una mayor carga administrativa. La falta de integración entre ambos sistemas dificulta la trazabilidad de las facturas, esto afecta la eficiencia operativa del área financiera, así como la oportunidad en la conciliación de la información y la toma de decisiones. Esta situación genera una carga de trabajo adicional, limita la eficiencia del área. Para efectos y uso de los indicadores de gestión empresarial, como elementos fundamentales para la movilización en acciones y voluntades hacia la toma de decisiones de negocio. La gestión está siempre al servicio de la estrategia, y en este sentido, es claro que lo que denominamos gestión es un sistema que se vincula con el entendimiento de una estrategia planteada y el establecimiento de los medios para alcanzar los objetivos de la empresa, proveyendo los medios para el flujo de información que garantice esa toma de decisiones efectiva. (Sánchez, 2025). Por su parte James Watt y Matthew Boulton, desarrollaron herramientas técnicas de producción como la estandarización. Los procedimientos de control de calidad, contabilidad analítica, y planeamiento del trabajo son parte de la gestión, donde a fines del siglo XIX, León Walras, Alfred Marshall entre los economistas introdujeron una nueva capa de complejidad a los principios teóricos de la Administración. Joseph Wharton ofreció el primer curso de nivel terciario sobre Administración en 1881 (Koontz, 2025). La carta de Porte, es un documento que se utiliza en el transporte de mercancías, sirve para comprobar el traslado de productos de un lugar a otro; Este documento funciona como un respaldo legal, ya que contiene toda la información relacionada con el envío. La carta de porte indica qué mercancía se está transportando y recibiendo bajo qué condiciones se realiza el traslado. En México, la carta de porte se integra como un complemento dentro de la factura electrónica (CFDI), y es obligatoria para el transporte de mercancías. Esta regulación es establecida por el Servicio de Administración Tributaria, con el objetivo de tener un mayor control sobre el movimiento de bienes en el país (thomsonreutersmexico.com, 2026)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para comprender la amplitud numérica, en donde la profundidad de las experiencias de la población, aplicando método cualitativo-cuantitativa no experimental permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión (Sampieri, 2018). Por ello, para conseguir lo anterior, se aplicó un método de investigación mixto que recolecta datos numéricos (cuantitativos), descriptivos/interpretativos (cualitativos) con la intencionalidad de observar los fenómenos en su contexto natural. Uno de los principales objetivos es, Analizar los portales de Tresguerras y CEVA, con el fin de integrar la administración de facturas del cliente de Autotransportes de Carga Tresguerras, S.A. DE C.V. Los Objetivos específicos son; 1) Identificar el área de oportunidad dentro del proceso actual de los portales de TRESGUERRAS y CEVA. 2) Recopilar la información necesaria de los portales de TRESGUERRAS y CEVA y sus procesos operativos. 3) Analizar la información obtenida administración de facturas del cliente de Autotransportes de Carga Tresguerras, S.A. DE C.V. 4) Diseñar procedimientos e instrucciones de trabajo con el fin de integrar la administración de facturas del cliente. 5) Desarrollar herramientas y formatos de control que integren la administración de facturas del cliente. 5) Implementar mejoras en la captura y gestión de información. 6) Evaluar los resultados de la implementación. 7) Realizar ajustes para la mejora continua del proceso en los portales de TRESGUERRAS y CEVA, con el fin de integrar la administración de facturas del cliente de Autotransportes de Carga Tresguerras, S.A. DE C.V.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado que cada ejecutivo responsable registra la incidencia en la bitácora de indicadores de desempeño (KPI), con el fin de llevar un control del cumplimiento del proceso y detectar áreas de mejora. Para evaluar el impacto de la implementación de esta solución, se proponen los siguientes indicadores de desempeño: a) Tiempo promedio de descarga de documentos; b) Número de errores en la captura de información; c) Cantidad de documentos procesados por día; d) Tiempo total del proceso de facturación.



Figura 1. Automatización del proceso gestión de facturación

Proceso propuesto: Excel → Sistema automático → Descarga automática → Carga directa

Con el desarrollo, mejora e implementación al desarrollar un proceso de automatización, se estima que el tiempo de procesamiento podría reducirse en un 50.0%, mientras que los errores podrían disminuir hasta en un 80.0%, mejorando así la eficiencia operativa del área. Con base en el análisis del proceso actual y en la experiencia obtenida dentro del área de facturación, se propone la implementación de una solución tecnológica enfocada en la automatización de la descarga y gestión de documentos. La propuesta consiste en desarrollar una integración entre los sistemas de CEVA Logistics y Tresguerras, utilizando herramientas como APIs o tecnologías de automatización (RPA). Esta integración permitirá que, a partir del archivo de Excel que se recibe actualmente, el sistema identifique automáticamente los datos clave como el número de talón y folio, para posteriormente conectarse al portal de CEVA sin necesidad de intervención manual. Una vez realizada la conexión, el sistema ejecutará de forma automática la búsqueda de los registros, la descarga de los archivos XML, PDF y carta porte, así como su organización y almacenamiento. Finalmente, los documentos serán cargados directamente al sistema de Tresguerras, eliminando la necesidad de realizar estas actividades de forma manual. De esta manera, el proceso se volverá más ágil, eficiente y confiable, permitiendo reducir significativamente los tiempos de operación y minimizar los errores humanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldavert, J., Vidal, E., Lorente, J. J., & Aldavert, X. (2024). 5s Para la Mejora Continua. MIDAC CLIMS.

Barraza, M., & Dávila, J. (2019). Encontrando al Kaizen Teórico de la Mejora Continua. México. EGADE.

Enciclopedia Concepto. (2026) Gestión empresarial. Obtenido de: https://concepto.de/gestion-empresarial/

Felipe, D. (2025). Manufactura Esbelta. Culiacán Izcalli.

González, O., & Arciniegas, J. (2024). Sistemas de Gestión de la Calidad. Ediciones ECOE. Bogotá.

Gustavo, G. (2024). Justo a tiempo y Calidad Total. Monterrey: Ediciones Castillo, S.A de C.V.

Lifeder. (2026) Obtenido de: https://www.lifeder.com/aportaciones-wiliams-edwards-deming/

Pérez, Mariana. Definición de Metodología. Obtenido de: https://conceptodefinicion.de/metodologia/.

Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill. Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

Senge, P., Roberts, C., Ross, R, Smith, B., & Kleiner, A. (2026). La Quinta Disciplina en la Practica México; GRANICA. Obtenido de: http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/definicion-y-proposito-de-la-investigacion- aplicada

Tecnológico Nacional de México (2026). Obtenido de: https://www.tecnm.mx/

TOYOTA (2020) La Dirección Empieza en las Estaciones del Trabajo. TOYOTA NO GENBA KANRI: KANBAN HASHIKI NO.

Wu, Y., & Wu, A. (2026). Diseño Robusto Utilizando los Métodos Taguchi. Madrid España: Díaz de Santos.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DESARROLLO DE SISTEMA IoT PARA CONTROL DE ACCESOS VEHICULARES

Diego Mandujano Vazquez[1]; José Luis Juárez Alvarez[1]; Sergio Arturo García Gutiérrez[1]; José Luis Camargo Orduño[1]; Mariana Rojas Delgado[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Estudiante de la carrera de TICS Autor de correspondencia: L22980266@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo e implementación de un sistema automatizado para el control de entradas y salidas vehiculares mediante el uso de un microcontrolador ESP32, con el objetivo de ofrecer una alternativa tecnológica para la gestión de accesos en el Tecnológico Nacional de México, campus Roque, extensión Apaseo el Alto, donde actualmente no se cuenta con un registro histórico que permita analizar la afluencia vehicular de alumnos, docentes, visitantes y padres de familia, lo que limita la toma de decisiones. La propuesta se fundamenta en el uso de tecnologías IoT para desarrollar una solución capaz de registrar de manera organizada y confiable los accesos vehiculares, reducir el uso de registros físicos y promover prácticas más eficientes y sustentables. El sistema integra sensores RFID para la identificación de usuarios, sensores infrarrojos y ultrasónicos para la detección y validación del paso vehicular, además de actuadores para el control de una barrera automatizada y señalización mediante luces LED. Adicionalmente, se desarrolló el diseño de una base de datos para el almacenamiento de información y un dashboard web para la visualización de registros y reportes, con el propósito de demostrar la funcionalidad y escalabilidad del sistema para futuras aplicaciones institucionales.

Palabras clave: *Actuadores, Dashboard, ESP32, IoT, RFID, Sensores*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de tecnologías digitales ha permitido mejorar la organización y funcionamiento de las instituciones educativas, especialmente en actividades relacionadas con el control y administración de información. Dentro de estas aplicaciones, el control de accesos vehiculares representa una necesidad importante, ya que permite identificar usuarios, registrar horarios de entrada y salida, así como mantener un historial de accesos para mejorar la seguridad y la administración institucional.

Actualmente, en el Tecnológico Nacional de México, campus Roque, extensión Apaseo el Alto, no existe un sistema automatizado que permita registrar y administrar esta información de manera eficiente, lo que dificulta

diferenciar entre alumnos, docentes, visitantes y otros usuarios, además de limitar el análisis de datos y la toma de decisiones.

Ante esta problemática surge la necesidad de desarrollar una solución tecnológica basada en Internet de las Cosas (IoT), capaz de automatizar el registro vehicular y optimizar el control de accesos. El Internet de las Cosas permite la interconexión de dispositivos electrónicos para recopilar, procesar y transmitir información en tiempo real, facilitando la automatización de múltiples procesos.

Para el desarrollo del sistema se seleccionó el microcontrolador ESP32 debido a su conectividad Wi-Fi integrada, bajo costo y compatibilidad con sensores y actuadores, características que lo convierten en una herramienta adecuada para proyectos de automatización y monitoreo inteligente. El objetivo general de este trabajo es desarrollar un sistema automatizado que permita registrar de forma organizada las entradas y salidas de vehículos, además de implementar un dashboard web para la visualización de registros y reportes. De manera específica, se busca identificar las necesidades del sistema, diseñar la arquitectura de funcionamiento, integrar sensores y actuadores, desarrollar la estructura de almacenamiento de datos y validar la funcionalidad general del prototipo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del sistema se realizó considerando una arquitectura basada en IoT orientada al control automatizado de accesos vehiculares. El sistema utiliza un microcontrolador ESP32 como unidad principal de procesamiento y comunicación debido a su conectividad Wi-Fi integrada y compatibilidad con diferentes sensores y módulos electrónicos.

El prototipo integra un módulo RFID RC522 para la identificación de usuarios mediante tarjetas o llaveros NFC, sensores ultrasónicos e infrarrojos para detectar el paso vehicular, LEDs indicadores para señalización visual y un servomotor encargado de simular la apertura y cierre de la barrera de acceso.

Asimismo, se incorporó una tarjeta MicroSD para el almacenamiento local de registros y conectividad Wi-Fi para el envío de información hacia una base de datos remota. La interfaz web fue desarrollada mediante HTML, CSS, JavaScript y PHP para permitir la consulta y visualización de registros almacenados.

La arquitectura del sistema fue desarrollada bajo un enfoque modular basado en IoT, donde el ESP32 funciona como unidad central encargada de la adquisición, procesamiento y transmisión de datos.

La capa de percepción integra sensores RFID, infrarrojos y ultrasónicos encargados de detectar la presencia vehicular y validar credenciales de acceso. Además, se incluyen actuadores como LEDs indicadores y un servomotor para el control de la barrera automática.

La capa de transporte permite la comunicación inalámbrica mediante Wi-Fi utilizando el protocolo HTTP para el envío de registros hacia el servidor. El sistema también contempla almacenamiento local mediante tarjeta MicroSD como mecanismo de respaldo.

En la capa de procesamiento, el ESP32 ejecuta la validación de credenciales, detección vehicular y control de actuadores. Posteriormente, la información generada es enviada hacia el servidor para su almacenamiento y administración. Finalmente, la capa de aplicación contempla un dashboard web desarrollado con tecnologías HTML, CSS, JavaScript y PHP, orientado a la visualización de registros, monitoreo de accesos y generación de reportes.

Cuadro 2. Componentes principales utilizados en el prototipo.

Componente	Función
ESP32	Procesamiento y control del sistema
Módulo RFID PN532	Identificación de usuarios
Sensor ultrasónico	Detección de presencia vehicular
Servomotor	Apertura y cierre de barrera
LEDs indicadores	Señalización visual
Tarjeta MicroSD	Respaldo y almacenamiento local
Wi-Fi	Comunicación y transmisión de datos

El funcionamiento del sistema inicia con la lectura de credenciales RFID. Posteriormente, el ESP32 valida la información y detecta la presencia del vehículo mediante sensores ultrasónicos e infrarrojos. Si el acceso es autorizado, el sistema activa el servomotor para levantar la barrera y enciende indicadores luminosos. Finalmente, la información correspondiente es almacenada y enviada al servidor para su registro en la base de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo realizado permitió estructurar una arquitectura funcional orientada al control automatizado de accesos vehiculares mediante tecnologías IoT. La integración de sensores, actuadores y módulos de comunicación proporciona una solución adaptable y escalable para diferentes entornos educativos.

Uno de los principales aportes del sistema es la automatización del registro vehicular mediante tecnologías RFID y sensores de detección, reduciendo la dependencia de registros manuales y mejorando la organización institucional.

El uso del ESP32 representa una ventaja importante debido a su conectividad inalámbrica, facilidad de programación y compatibilidad con múltiples dispositivos, permitiendo futuras ampliaciones relacionadas con monitoreo remoto, almacenamiento en la nube y aplicaciones móviles.

Asimismo, la arquitectura modular facilita la integración de nuevos sensores y funcionalidades, favoreciendo la escalabilidad del sistema y su aplicación en proyectos de automatización inteligente.

Durante el desarrollo del prototipo se realizaron pruebas de integración entre sensores, actuadores y la base de datos, permitiendo validar el funcionamiento general del sistema y la correcta transmisión de registros hacia la plataforma web.

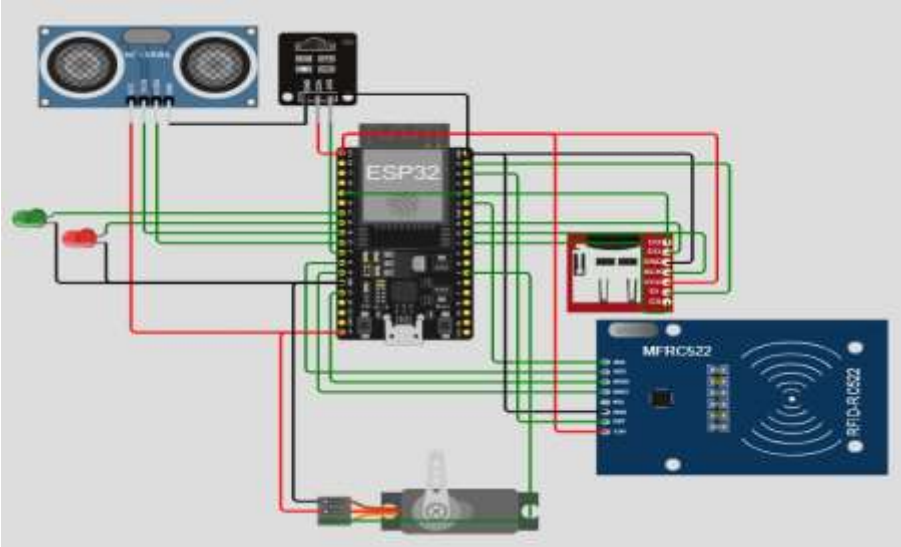


Figura 5. Maquetado de conexiones de sensores y actuadores al ESP32.

Diagrama de conexión del sistema IoT donde se integran el microcontrolador ESP32, sensores ultrasónicos, módulo RFID RC522, LEDs indicadores y servomotor utilizados para el control automatizado de accesos vehiculares.



Figura 2. Registro de accesos almacenados en la base de datos del sistema.

Visualización de los registros de entradas y salidas vehiculares almacenados en la base de datos del sistema desarrollado, incluyendo fecha, hora y validación de acceso.

El diseño también contempla la incorporación de dashboards web para visualización de reportes y análisis histórico de accesos, lo cual puede contribuir a mejorar la seguridad y la toma de decisiones dentro de instituciones educativas.

Como limitación del trabajo, el sistema requiere pruebas experimentales en condiciones reales para evaluar la precisión de sensores, estabilidad operativa y desempeño de la transmisión de datos.

Como trabajo futuro se contempla la implementación física completa del prototipo, así como la incorporación de almacenamiento en la nube, aplicaciones móviles y algoritmos inteligentes para optimizar el control de accesos vehiculares.

CONCLUSIONES

El diseño propuesto de un sistema automatizado para el control de accesos vehiculares basado en tecnologías IoT representa una alternativa útil para mejorar la organización de entradas y salidas en instituciones educativas y no solo para el caso específico del contexto de este proyecto (TECNM campus Roque, extensión Apaseo el Alto) sino en general ya que permite llevar un registro más ordenado y confiable de la información.

La estructura por capas facilita entender cómo funciona el sistema y permite que, en el futuro, pueda adaptarse o ampliarse según las necesidades; el uso del microcontrolador ESP32 resulta adecuado por su facilidad de conexión y compatibilidad con distintos dispositivos, lo que hace viable el diseño planteado. Además, la propuesta de una base de datos y un dashboard web permite visualizar la información de manera clara, lo que puede apoyar la toma de decisiones. En conjunto, este trabajo establece una base para futuras implementaciones, mostrando que el uso de tecnologías IoT puede ser una opción práctica para modernizar el control de accesos vehiculares en instituciones educativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

alphaTelecomSolutions. (s.f.). alphaenginyeria.com. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://alphaenginyeria.com/capas-arquitectura-iot#:~:text=Capa%20de%20percepción,calidad%20del%20aire%2C%20como%20PM2.

Amazon. (s.f.). amazon.com. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/

Espressif. (s.f). espressif.com. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/

IBM. (s.f). ibm.com. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/internet-of-things

Llamas, L. (s.f). Luis Llamas. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://www.luisllamas.es/esp32-detalles-hardware-pinout/

Oracle. (15 de Febrero de 2021). oracle.com. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://www.oracle.com/latam/internet-of-things/

processon. (07 de 04 de 2025). processon.io. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://www.processon.io/es/blog/make-a-software-architecture-diagram

Söderby, K. (24 de Julio de 2025). Arduino. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/esp32/

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COLORÍMETRO INTELIGENTE DE BAJO COSTO BASADO EN ANFIS PARA PREDECIR °BRIX EN *Citrus sinensis* L.

Marcos J. Villaseñor-Aguilar[1]; Alejandro De Lucio Rangel[2]; Hector M. Galván-López[2]; Alejandro I. Barranco-Gutiérrez [3] y Carlos G. Manríquez-Padilla[4]

[1]División de Ingeniería Mecatrónica, TecNM/ITS Irapuato, Irapuato 36821, México., marcos.va@irapuato.tecnm.mx. [2]División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, TecNM/ITS Irapuato, Irapuato 36821, México., alejandro.dr@irapuato.tecnm.mx , manuel.gl@irapuato.tecnm.mx . [3]Depratamento de Ingeniería Electrónica, TecNM/ Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya 38010, México., israel.barranco@itcelaya.edu.mx [4]Faculta de Ingeniería, Campus San Juan del Río, Universidad Atuonoma de Queretaro, San Juan del Rio 76807, México., carlos.marinquez@uaq.mx

RESUMEN

Actualmente, una de las principales necesidades de los productores es la incorporación de tecnologías de bajo costo que permitan evaluar de manera eficiente la calidad de los productos agrícolas. México es uno de los principales productores de naranja, cuyo valor comercial está estrechamente relacionado con su contenido de azúcares. En este trabajo se propone una metodología para el diseño de un colorímetro inteligente orientado a la estimación del contenido de azúcares en la naranja. El sistema utiliza un microcontrolador ESP32 y un sensor de color TCS34725 para la adquisición de información cromática. A partir de estos datos, se implementó un modelo computacional basado en sistemas neuro-difusos adaptativos (ANFIS), el cual alcanzó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.999 y un error medio cuadrático de 0.0071.

Palabras claves: *anfis, grados brix, naranja, sensor*

ABSTRACT

Currently, one of the main needs of producers is the incorporation of low-cost technologies that enable efficient evaluation of agricultural product quality. Mexico is one of the main producers of oranges, whose commercial value is closely related to its sugar content. This study proposes a methodology for the design of an intelligent colorimeter aimed at estimating the sugar content in oranges. The system uses an ESP32 microcontroller and a TCS34725 color sensor for chromatic data acquisition. Based on these data, a computational model based on an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) was implemented, achieving a coefficient of determination (R^2) of 0.999 and a mean squared error of 0.0071.

Keywords: ANFIS , Degrees Brix , Orange, Sensor

INTRODUCCIÓN

Dentro de la diversidad de los cítricos, la naranja (Citrus sinensis), perteneciente a la familia Rutaceae, destaca como uno de los frutos de mayor demanda a nivel mundial debido a sus características organolépticas, tales como su color que varía de amarillo a naranja intenso, su aroma característico, su sabor dulce con acidez moderada y una pulpa de textura jugosa. Asimismo, este fruto es reconocido por sus propiedades nutracéuticas, asociadas a su alto contenido de fibra, vitamina C y compuestos antioxidantes, además de sus potenciales efectos antiinflamatorios y anticancerígenos (Villares et al.,2004).

De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el año 2024 la producción mundial de naranja alcanzó aproximadamente 3.38 millones de hectáreas, con una producción estimada de 67 millones de toneladas (FAO,2026). En este contexto, México, según cifras de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), contribuyó con el 6.4 % de la producción mundial, al cosechar 341 217 hectáreas que generaron alrededor de 7.62 millones de toneladas, posicionándose como el tercer productor a nivel mundial, después de Brasil y China (SecretarÃa de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2025). Esta elevada producción responde a la diversidad de aplicaciones industriales del fruto, entre las que destacan la elaboración de jugos, mermeladas, aceites esenciales, concentrados y pastas.

La determinación de la calidad de la naranja por parte de los productores se basa, en muchos casos, en pruebas empíricas sustentadas en la experiencia, considerando atributos como color, forma, textura y sonido (Prasad et al., 2018). No obstante, existe una creciente necesidad de incorporar técnicas instrumentales avanzadas que permitan una evaluación objetiva y precisa de la calidad, tales como la Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC), la espectrofotometría, la refractometría y los ensayos de firmeza mediante penetrómetros. Aunque estos métodos ofrecen alta precisión y confiabilidad, presentan desventajas importantes, como su carácter destructivo, el elevado costo de los equipos y la necesidad de personal altamente especializado para su operación (Jaywant et al., 2022).

En este contexto, la determinación del punto óptimo de madurez del fruto representa un reto tecnológico, ya que puede manifestarse en distintas etapas del desarrollo y debe ajustarse a las exigencias del mercado. Por ello, diversos estudios se han enfocado en la determinación de los Sólidos Solubles Totales (SST), ya que esta variable fisicoquímica permite estimar la madurez, la dulzura y la acidez del fruto. El contenido de SST, expresado comúnmente en grados Brix (°Brix), es considerado un parámetro clave de calidad relacionado con las condiciones de cultivo y procesamiento(Villaseñor-Aguilar et al., 2020) .

Sin embargo, muchos de los métodos empleados para la determinación de °Brix presentan limitaciones asociadas a su alto costo, complejidad operativa y carácter destructivo, lo que restringe su aplicación en evaluaciones rápidas o a gran escala. En contraste, investigaciones recientes han explorado técnicas no invasivas basadas en el análisis del color del fruto. Villarreal et al. (2024) reportaron una correlación significativa entre la coloración de la cáscara de naranja y el incremento del contenido de °Brix, utilizando un modelo basado en el espacio de color CIE-LAB. De manera similar, Nuño-Maganda et al. (2024) emplearon imágenes y video, logrando precisiones superiores al 93 % mediante modelos de visión artificial, y hasta un 99 % usando redes convolucionales SSD MobileNetV3. Asimismo, Villaseñor-Aguilar et al. (2024) propusieron modelos basados en redes neuronales artificiales y lógica difusa para predecir el contenido de azúcares en naranja, obteniendo coeficientes de correlación superiores a 0.70. Bajo este enfoque, se presenta una propuesta metodológica que emplea un sensor de bajo costo para predecir el contenido de grados Brix mediante mediciones RGB y Lógica difusa, aplicada a frutos de naranja (Citrus x sinensis).

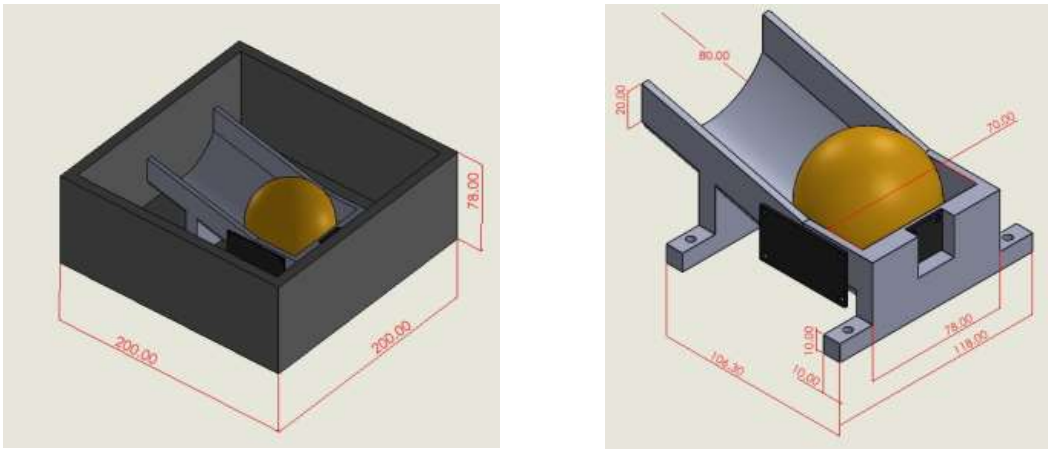
MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 se muestra la metodología empleada para el desarrollo del colorímetro inteligente, el cual se caracteriza por estar conformado por tres sistemas: el mecánico **de aislamiento**, el **de medición** y el de control, además de una interfaz de operación.



Figura 1. Diagrama de general del sistema calorímetro inteligente para la de estimación grados Brix mediante mediciones RGB.

Desarrollo del sistema mecánico de aislamiento. En la Figura 2 se presenta el modelo 3D, elaborado mediante diseño asistido por computadora (CAD), correspondiente al sistema de aislamiento y al sistema de embalaje del fruto. En la Figura 2a se muestra la cámara de aislamiento, la cual consiste en una estructura cerrada con dimensiones de 200 mm × 200 mm × 78 mm, fabricada en color negro mate para evitar reflexiones externas y garantizar condiciones de iluminación controladas durante la medición. Por su parte, en la Figura 2b se observa el sistema de embalaje diseñado para facilitar la correcta manipulación y posicionamiento del fruto dentro del colorímetro.



(a) (b)

Figura 2. (a) Sistema de aislamiento de la iluminación, (b) Embalaje del fruto del calorímetro

Desarrollo del sistema de medición. En la Figura 3 se muestra el esquema electrónico del colorímetro inteligente su arquitectura interana se basa en la comunicación mediante el bus I²C, el cual permite conectar el sensor de color Adafruit TCS34725 al microcontrolador ESP32 utilizando únicamente dos líneas de datos además de la alimentación. La conexión del sensor digital para la implementación del bus I2C fue con los pines GPIO20 (SDA) y GPIO21 (SCL) del microcontrolador ESP32.

Cabe resaltar la configuración del sensor TCS34725 se utilizó una comunicación serial de 9600 baussrate. Posteriormente, se configura el sensor con una ganancia de 4 para incrementar la sensibilidad a las mediciones del color y un tiempo de integración de 50 ms que es tiempo de exposición de los fotodiodos que integran el sensor para generar una medición. Posteriormente se hace la lectura de la medición para ser empleada por el microcontrolador.

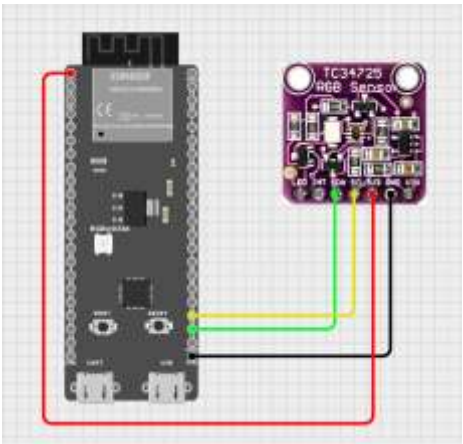


Figura 3. Diagrama electrónico de conexión del microcontrolador ESP32 y el sensor TCS34725.

Interface de operación del colorímetro inteligente. En la Figura 4 se muestra la interface de operación que fue implementado en Python este tiene como característica que muestra las lecturas de la mediciones te permite visualizar la gráifca de la predicción, mostrar las metríca de medición y dos botones de control para adquirir las mediciones de color. En su interior cuenta con un modelo matemático ANFIS que fue integrado con tres entradas correspondientes a la mediciones del sensor de color y la salida la variable de predicción de °Brix. Para el diseño del modelo de Inteligencia Artificial se utilizaron 17 muestras con diferentes grados de madurez y tamaño uniforme.

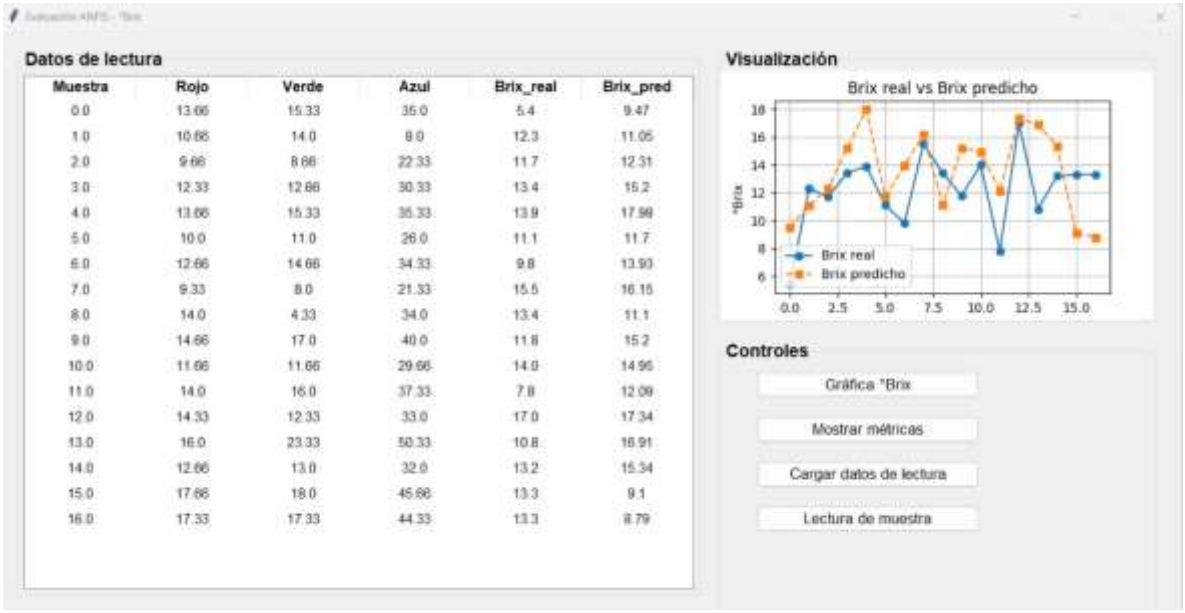


Figura 4. Interface de operación del colorímetro inteligente.

Generación del modelo Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (**ANFIS).** El modelo ANFIS (**Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) cuyo acrónimo en español es** sistema adaptativo de inferencia neurodifusa que ayuda a construir un modelo mediante datos de entra y salida. Su principal característica es emplea una una partición difusa del espacio de entrada. En cada subespacio difuso se forma una relación lineal de entrada-salida. La Figura 5 muestra arquitectura propuesta del modelo fue implementado mediante en Python se resume en la Tabla 1 se resumen las funciones de membresia empleadas del tipo Gaussianas.

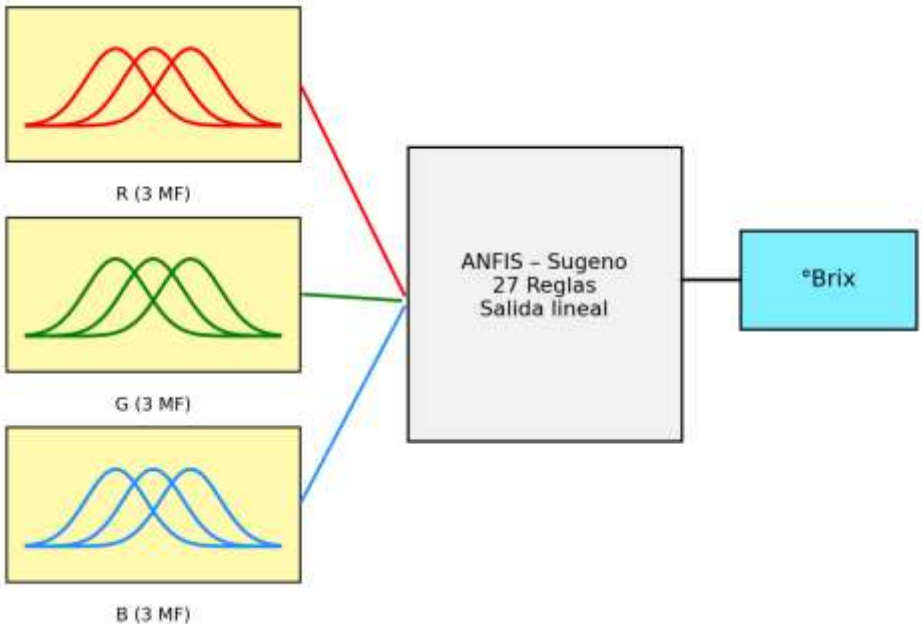


Figura 5. Arquitectura propuesta del modelo ANFIS de predicción de °Brix.

El modelo

Entrada	Funciones de membresía	Center(c)	Sigma(σ)
	MF1	9.33	3.332
	MF2	13.495	3.332
R	MF#	17.66	3.332
	MF4	4.33	7.6
	MF5	13.83	7.6
G	MF6	23.33	7.6
	MF7	8	16.932
	MF8	29.165	16.932
B	MF9	50.33	16.932

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo implementado se muestra en la Figura 6 este utilizó el registro de la mediciones de color RGB hechas por el sensor TCS34725 y la mediciones del contenido de °Brix que fue medido con un Refractómetro digital Deosdum (modelo t1cq6gki47) con un rango de medición de 0 a 55% empleando la metodología propuesta [Villaseñor-Aguilar et al. 2024]. En la Tabla 2 se muestran las mediciones de las muestras utilizadas en el diseño del dispositivo.

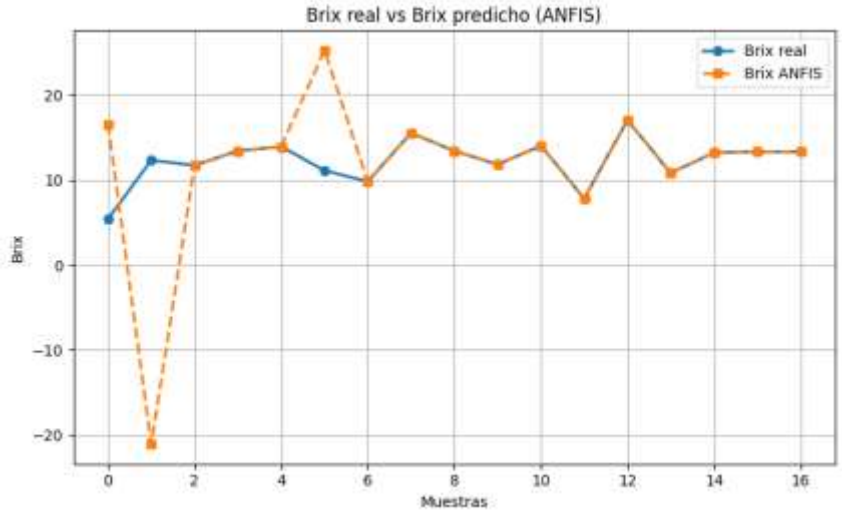


Figura 6: Comparativo de las predicciónes hechas con el colorímetro inteligente versus mediciones con el refratometro.

La Figura 7 presenta la gráfica de Bland-Altman entre los valores reales de °Brix y las predicciones generadas por el modelo ANFIS. La mayoría de las diferencias se concentran alrededor de la media del error y se encuentran dentro de los límites de concordancia (±1.96σ), lo cual indica un adecuado nivel de concordancia entre las mediciones experimentales y las estimaciones del modelo difuso. No se observa un sesgo sistemático apreciable, confirmando la capacidad de aproximación del sistema propuesto.

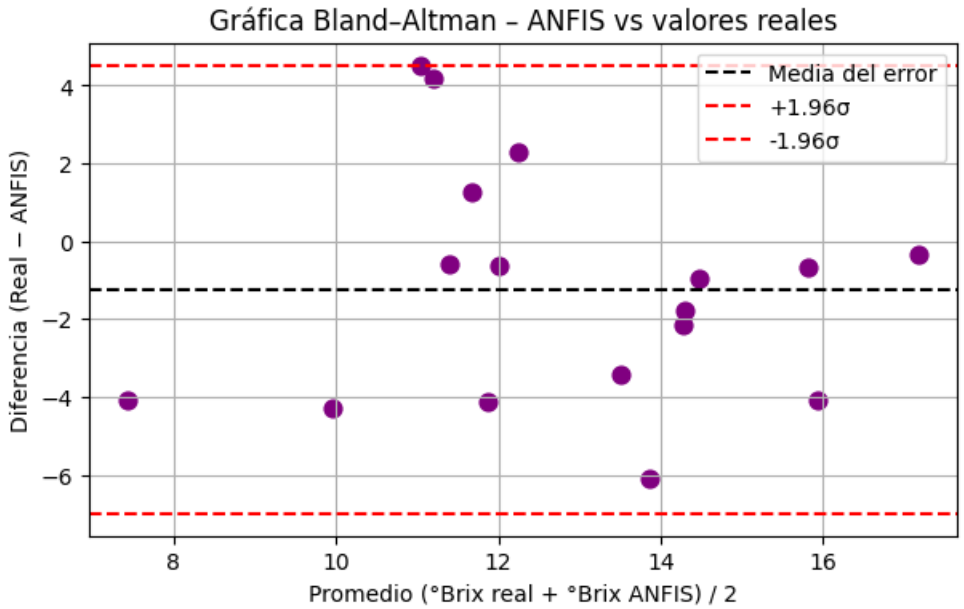


Figura 7: Análisis de Bland-Altman para valores reales y predicciones de °Brix obtenidas mediante ANFIS, mostrando adecuada concordancia y ausencia de sesgo sistemático.

CONCLUSIONES

En este trabajo se propone el desarrollo de un sistema de medición no invasivo que facilita la estimación del contenido de azúcares en la naranja. La arquitectura del sistema presenta la ventaja de poder adaptarse para el monitoreo de otras variables fisicoquímicas relacionadas con la coloración del epicarpio del fruto, lo que permitiría asociar dichas variaciones con compuestos como luteína, clorofila y licopeno.

Asimismo, se demostró que los cambios en la coloración del epicarpio de la naranja pueden ser medidos de manera confiable mediante el uso de un sensor comercial de bajo costo, como el TCS34725, lo que refuerza la viabilidad del sistema propuesto para aplicaciones agroalimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Al TECNM por el apoyo al proyecto M00-PR-03R01 Proyecto(25529), al ITESI, ITC, UAQ, PRODEP, SECIHTI y SNI .

REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS

Villares, J., Cobos, M., Vásquez, L., Sarmiento, R., Maita, F., Freire, C., Alexis, L., and Alvarado, J. (2024). Evaluación de parámetros de calidad de naranja (citrus x sinensis) en tres estados de madurez. Bionatura Journal: Ibero American Journal of Biotechnology and Life Sciences. URL http://dx.doi.org/10.21931/BJ/2024.01.01.10.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2026). *FAOSTAT: Base de datos estadísticos*. https://www.fao.org/faostat/

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2025). *Panorama agroalimentario 2025*. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/

Prasad, K., Jacob, S., and Siddiqui, M.W. (2018). Fruit maturity, harvesting, and quality standards. In Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality, 41–69. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00002-0

Jaywant, S.A., Singh, H., and Arif, K.M. (2022). Sensors and instruments for brix measurement: A review. Sensors, 22(6), 2290. https://doi.org/10.3390/s22062290

Villaseñor-Aguilar, M. J., Bravo-Sánchez, M. G., Padilla-Medina, J. A., Vázquez-Vera, J. L., Guevara-González, R. G., García-Rodríguez, F. J., & Barranco-Gutiérrez, A. I. (2020). A maturity estimation of bell pepper (Capsicum annuum L.) by artificial vision system for quality control. *Applied Sciences*, *10*(15), 5097. https://doi.org/10.3390/app10155097

Nuño-Maganda, M. A., Dávila-Rodríguez, I. A., Hernández-Mier, Y., Barrón-Zambrano, J. H., Elizondo-Leal, J. C., Díaz-Manriquez, A., & Polanco-Martagón, S. (2023). Real-time embedded vision system for

online monitoring and sorting of citrus fruits. *Electronics*, *12*(18), 3891. https://doi.org/10.3390/electronics12183891

Villaseñor-Aguilar, M. J., Cano-Lara, M., Lopez, A. R., Rostro-Gonzalez, H., Padilla-Medina, J. A., & Barranco-Gutiérrez, A. I. (2024). fuzzy classification of the maturity of the orange (citrus× sinensis) using the citrus color index (CCI). *Applied Sciences*, *14*(13), 5953. https://doi.org/10.3390/app14135953

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE FRESAS (Fragaria × ananassa) MEDIANTE OPENCV-PYTHON

Gonzalez Cruz Ashley Jeovanna[1], Romero Ramírez Juan Manuel[1], Marcos J. Villaseñor-Aguilar[1], Gerardo Trejo-Caballero[1] y Mario A. Juarez-Balderas[2]

[1]División de Ingeniería Mecatrónica, TecNM/ITS Irapuato, Irapuato 36821, México., LIS21110001@irapuato.tecnm.mx,LIS21111283@irapuato.tecnm.mx.,marcos.va@irapuato.tecnm.mx, gerardo.tc@irapuato.tecnm.mx. [2]División de Ingeniería en Electrónica, TecNM/ITS Irapuato, Irapuato 36821, México., adolfo.ln@irapuato.tecnm.mx.

RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta de un sistema de clasificación de fresas en tiempo real empleando visión por computadora. Se utiliza la biblioteca OpenCV de Python para capturar imágenes desde una cámara y procesarlas mediante técnicas de segmentación, ajuste de elipse y análisis morfológico. A partir de la relación de aspecto, solidez y dimensiones en centímetros de cada fruta, se determina su forma y tamaño. Los resultados se muestran visualmente en pantalla, permitiendo una inspección rápida y automatizada, útil en aplicaciones agrícolas o industriales. Este trabajo se enfoca principalmente en la detección de la forma circular, alargada y de corazón de las fresas.

Palabras clave: *clasificador, fresa, forma, procesamiento de imágenes*

ABSTRACT

This paper presents a proposal for a real-time strawberry classification system using computer vision. The OpenCV library for Python is used to capture images from a camera and process them using segmentation, ellipse fitting, and morphological analysis techniques. Based on the aspect ratio, solidity, and dimensions in centimeters of each fruit, its shape and size are determined. The results are displayed visually on screen, allowing for rapid and automated inspection, useful in agricultural or industrial applications. This work focuses primarily on detecting the circular, elongated, and heart-shaped forms of strawberries.

Keywords: *classifier, strawberry, shape, image processing*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los frutos producidos en la región Laja-Bajío es la fresa, la cual ha tomado importancia por su característica combinación de sabor dulce y ácido. La fresa pertenece a la familia *Rosaceae* y al género *Fragaria*. Este fruto es ampliamente consumido en diversas presentaciones como aguas frescas, jugos

naturales, néctares, smoothies, licuados, bebidas fermentadas, gelatina, yogurt, helado, mermelada, conservas, dulces cristalizados y gomitas (Yin, 2025). Cabe destacar que esta baya es considerada un alimento nutracéutico por su aporte nutricional, debido a su contenido de compuestos bioactivos como vitamina C, folato y compuestos fenólicos. Además, se le atribuyen beneficios a la salud como cardioprotección, prevención del cáncer, regulación metabólica, actividad antimicrobiana y antiinflamatoria (Giampieri et al., 2012). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2024 la producción mundial de fresa alcanzó aproximadamente 436,067 hectáreas, con una producción estimada de 10.7 millones de toneladas (FAO, 2026). En este sentido, México ocupó el cuarto lugar después de China, Estados Unidos y Egipto. Asimismo, datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) señalan que Guanajuato contribuyó con el 15% de la producción nacional, logrando alrededor de 100,000 toneladas en 3,500 hectáreas. Sin embargo, muchos de los métodos empleados para determinar la calidad de los cultivos se basan en evaluaciones visuales realizadas por operadores humanos, lo cual introduce variabilidad y subjetividad en los resultados. La aplicación de visión computacional en tareas de inspección contribuye significativamente a eliminar estas subjetividades, mediante el uso de características cuantificables como forma, color y textura. En este sentido, la forma constituye uno de los parámetros de calidad más utilizados en la evaluación de frutos, ya que refleja directamente su desarrollo fisiológico y posibles defectos estructurales. Estudios recientes han destacado que las características morfológicas, como la simetría y la deformación del fruto, son indicadores clave en la clasificación y aceptación comercial de productos hortofrutícolas, además de que su análisis automatizado permite mejorar la precisión y eficiencia en los sistemas de control de calidad (Jiang et al., 2025; Villaseñor-Aguilar et al., 2020). Bajo este enfoque, se presenta una propuesta metodológica para el diseño de un sistema de visión enfocado en la determinación de la calidad del fruto, empleando cámaras comerciales de bajo costo y software libre.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 se muestra la metodología empleada para el desarrollo del colorímetro inteligente, el cual se caracteriza por estar conformado por tres sistemas: el mecánico **de aislamiento**, el **de medición** y el de control, además de una interfaz de operación.

z



Figura 1. Diagrama de general del sistema de visión propuesto

El sistema de clasificación de fresas fue desarrollado en Python utilizando la biblioteca OpenCV para realizar procesamiento de imágenes en tiempo real. La metodología general se compone de cuatro etapas principales: captura de imagen, preprocesamiento, segmentación, extracción de características y clasificación.

1. Captura de imagen Se empleó una cámara comercial de bajo costo conectada al sistema mediante la función cv2.VideoCapture(). Esta permite obtener imágenes en tiempo real para su análisis.
2. Conversión a escala de grises y preprocesamiento Las imágenes capturadas se transformaron a escala de grises (cv2.cvtColor) para reducir la complejidad computacional. Posteriormente, se aplicó un desenfoque Gaussiano (cv2.GaussianBlur) con el fin de eliminar ruido y mejorar la calidad de la segmentación.
3. Segmentación adaptativa Se utilizó la técnica de umbralización de Otsu (cv2.threshold) para separar la fresa del fondo. Dependiendo de la intensidad de la imagen, se aplicó umbral binario normal o invertido, lo que permitió mayor robustez ante variaciones de iluminación.
4. Operaciones morfológicas Se aplicaron operaciones de apertura y cierre para eliminar ruido y rellenar huecos en las regiones detectadas, mejorando la definición de los contornos.

Extracción de características: a) Se ajustó una elipse al contorno de cada fresa (cv2.fitEllipse), obteniendo los ejes mayor y menor b) Se calculó la relación de aspecto (indicador de forma) y la solidez (medida de convexidad); c) Estas métricas permitieron diferenciar fresas circulares, alargadas y con forma de corazón.

5. Clasificación por tamaño El eje mayor en píxeles se convirtió a centímetros mediante una constante de calibración. Con ello se establecieron categorías de tamaño (pequeña, mediana, grande, extra grande).

El agoritmo propuesto es el siguiente: import cv2

```
# Inicialización de la cámara
cap = cv2.VideoCapture(1)

while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    # Conversión a escala de grises y desenfoque
    gris = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    desenfoque = cv2.GaussianBlur(gris, (5, 5), 0)

    # Segmentación adaptativa con Otsu
    _, binaria = cv2.threshold(desenfoque, 0, 255, cv2.THRESH_BINARY + cv2.THRESH_OTSU)

    # Detección de contornos
```

```
    contornos, _ = cv2.findContours(binaria, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    for cnt in contornos:
        if len(cnt) >= 5:
            ellipse = cv2.fitEllipse(cnt)
            (center, axes, orientation) = ellipse
            eje_mayor = max(axes)
            eje_menor = min(axes)
            relacion_aspecto = eje_mayor / eje_menor

            hull = cv2.convexHull(cnt)
            area_hull = cv2.contourArea(hull)
                                                area_cnt = cv2.contourArea(cnt)
            solidez = float(area_cnt) / area_hull

            # Clasificación por forma
            if 0.85 <= relacion_aspecto <= 1.10 and 0.88 <= solidez < 0.94:
                forma = "De Corazón"
            elif 0.90 <= relacion_aspecto <= 1.10 and solidez >= 0.94:
                forma = "Circular"
            else:
                forma = "Alargada"

            print(f"Forma detectada: {forma}")

    cv2.imshow("Clasificación de fresas", frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

RESULTADO Y DISCUSIÓN

El sistema de procesamiento de imágenes permitió clasificar las fresas en tiempo real de acuerdo con su forma y tamaño. Los parámetros principales utilizados fueron la relación de aspecto y la solidez, obtenidos a partir del ajuste de elipse y el análisis del contorno.

En la Figura 2 se observa una fresa con relación de aspecto cercana a 1.02 y solidez de 0.97. Estos valores indican que los ejes mayor y menor son casi iguales y que el contorno es compacto y bien definido. La clasificación corresponde a “Circular” y el tamaño se determinó como “Extra Grande”.

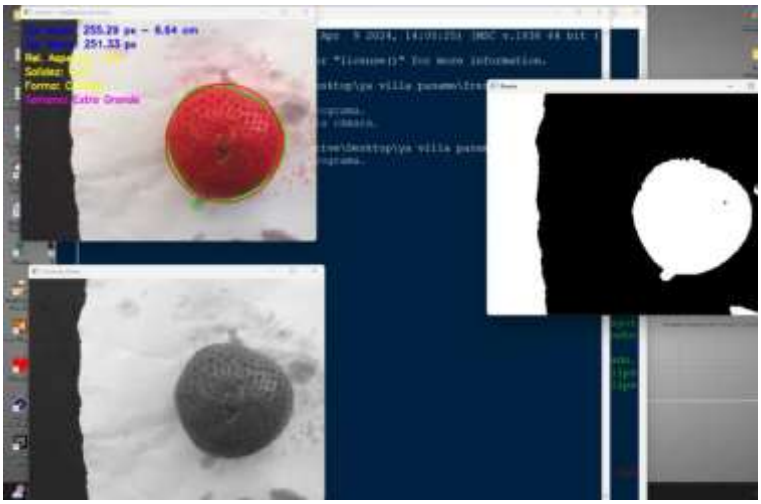


Figura 2. Fresas con forma circular en tiempo real.

En la Figura 3 se muestra una fresa con relación de aspecto de 1.28 y solidez de 0.93. La diferencia entre los ejes mayor y menor confirma la forma “Alargada”. Aunque la solidez es ligeramente menor que en la fresa circular, sigue indicando buena integridad estructural. El tamaño también se clasificó como “Extra Grande”.

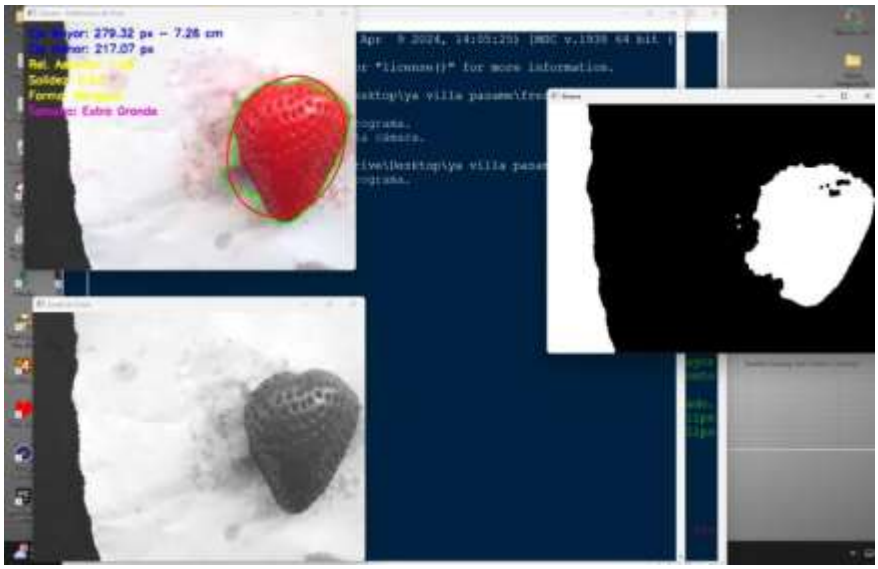


Figura 3: Fresas con forma alargada en tiempo real.

En la Figura 4 se presenta una fresa con relación de aspecto de 1.62 y solidez de 0.90, la más baja de las tres muestras. Estos valores reflejan una mayor irregularidad en el contorno, característica de la forma “De Corazón”. Al igual que las anteriores, se clasificó como “Extra Grande”.

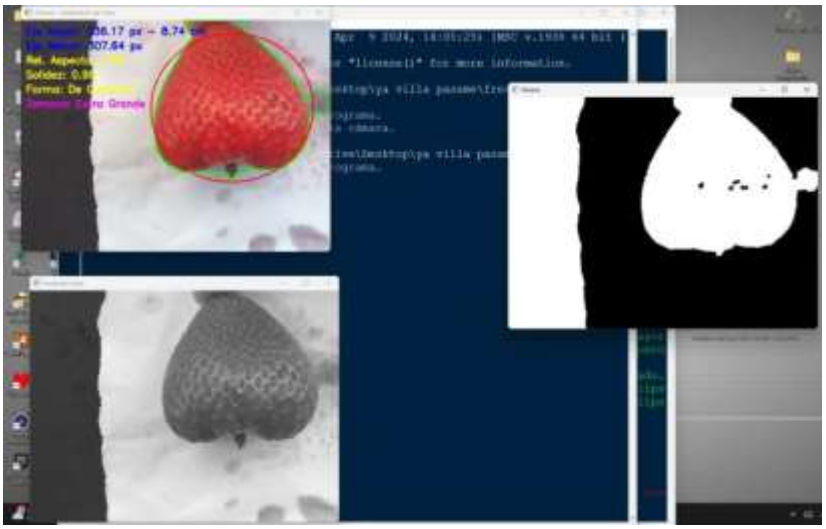


Figura 3: Fresas con forma de corazón en tiempo real.

En todos los casos, la clasificación computarizada coincidió con la inspección visual, validando la precisión del algoritmo. La segmentación binaria permitió aislar correctamente los frutos, y las métricas morfológicas demostraron ser indicadores robustos para diferenciar formas y tamaños.

CONCLUSIONES

El sistema de procesamiento de imágenes desarrollado demostró la capacidad de extraer métricas clave como el eje mayor, el eje menor, la relación de aspecto y la solidez de las fresas. Estas métricas se utilizaron eficazmente para clasificar los frutos por su forma (circular, alargada y de corazón) y tamaño (extra grande en los casos analizados). La coincidencia entre la clasificación computarizada y la inspección visual valida la precisión y confiabilidad del algoritmo propuesto.

Los resultados sugieren que este enfoque es una alternativa prometedora para la automatización de la clasificación de productos agrícolas basada en características morfológicas, reduciendo la subjetividad asociada a evaluaciones humanas. Asimismo, el sistema puede integrarse en procesos de empaque y control de calidad de la agroindustria, ofreciendo una herramienta objetiva, reproducible y de bajo costo que contribuye a la modernización de las prácticas agrícolas e industriales.

AGRADECIMIENTOS

Al TECNM por el apoyo al proyecto M00-PR-03R01 Proyecto (25529), al ITESI, PRODEP, SECIHTI y SNI .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo Orellana, I. M. (2010). Alternativas de producción de derivados de fresa con diseño experimental de los Productos: néctar, syrup y producto fermentado (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (s.f.). FAOSTAT: Datos de producción agrícola. Recuperado el 6 de mayo de 2026, de https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. Nutrition, 28(1), 9-19.

Jiang, L., Wang, Y., Yan, H., Yin, Y., & Wu, C. (2025). Strawberry fruit deformity detection and symmetry quantification using deep learning and geometric feature analysis. *Horticulturae, 11*(652). https://doi.org/10.3390/horticulturae11060652

Villaseñor-Aguilar, M. J., Bravo-Sánchez, M. G., Padilla-Medina, J. A., Vázquez-Vera, J. L., Guevara-González, R. G., García-Rodríguez, F. J., & Barranco-Gutiérrez, A. I. (2020). A maturity estimation of bell pepper (Capsicum annuum L.) by artificial vision system for quality control. *Applied Sciences, 10*(15), 5097. https://doi.org/10.3390/app10155097

Yin, I., Chen, Z., Sun, R., Liu, X., & Wang, Y. (2025). Analysis of the quality stability of strawberry juice fermented with water kefir grains during refrigeration. Science and Technology of Food Industry, 46(2), 301-307.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA CÁMARA DE MORFOGÉNESIS FÚNGICA INTELIGENTE

Raúl Omar Herrera Arroyo[1]; Cristal Yoselin Moreno Aguilera[1]; Juan José Martínez Nolasco[1]; Miguel Ángel Gómez Jiménez[2]; María Susana Acosta Navarrete[2]; Raúl René Robles Lacayo[2] y Fernando Germán Flores Guillén[2].

[1]Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya. Antonio García Cubas 600, Celaya, 38010 México. [2] Departamento de ciencias agropecuarias. Tecnológico Nacional de México / IT Roque. Carretera Juventino Rosas - Celaya Km. 8, 38110 Celaya, Gto. Autor de correspondencia: d2603012@itcelaya.edu.mx

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño conceptual de una cámara de morfogénesis fúngica inteligente para el cultivo de *Pleurotus spp.*, basada en el control de variables ambientales críticas. El sistema fue diseñado dentro de un contenedor tipo FEU, integrando sistemas de ventilación, humidificación, temperatura, riego y monitoreo mediante una arquitectura IoT. A partir del dimensionamiento realizado, se establecieron los actuadores a utilizar para el control de las variables de temperatura, humedad, CO_2 e iluminación. El modelado tridimensional en SolidWorks® permitió definir la distribución de los componentes y optimizar el aprovechamiento del volumen disponible. El diseño propuesto constituye una base funcional para el desarrollo de sistemas automatizados de producción fúngica en ambientes controlados.

Palabras clave: *Cámara de morfogénesis, Ambiente controlado, IoT, Cultivo de hongos, Monitoreo y control ambiental*

ABSTRACT

This work presents the conceptual design of an intelligent fungal morphogenesis chamber for the cultivation of *Pleurotus spp*., based on the control of critical environmental variables. The system was designed within a FEU-type container, integrating ventilation, humidification, temperature control, irrigation, and monitoring systems through an IoT-based architecture. Based on the system dimensioning, the actuators required for controlling temperature, humidity, CO_2, and lighting variables were defined. Three-dimensional modeling in SolidWorks® enabled the definition of component distribution and optimization of the available volume. The proposed design provides a functional basis for the development of automated mushroom production systems in controlled environments.

Keywords. *Morphogenesis chamber, Controlled environment, IoT, Mushroom cultivation, Environmental monitoring and control.*

INTRODUCCIÓN

La producción de hongos comestibles y medicinales ha ganado gran importancia en el sector agroalimentario debido a su gran valor nutricional y su potencial biotecnológico (Romero et al., 2025). El éxito de estos cultivos depende de la morfogénesis fúngica, el cual es un proceso biológico en donde el hongo pasa de su etapa de micelio a formar cuerpos fructíferos o setas (Virágh et al., 2022). Este proceso es muy sensible a las variables ambientales como la temperatura ambiente (TA), la humedad relativa ambiental (HR) y la concentración de CO_2. Si estas variables no son controladas, el rendimiento de la producción se ve reducido, afectando la viabilidad económica (Jacob et al., 2025).

Hoy en día, muchos sistemas de cultivo tradicionales se basan en ajustes manuales que no logran mantener la estabilidad requerida en las variables ambientales. Esta inexactitud ocasiona que las cosechas tengan características variadas, lo cual dificulta el estudio del crecimiento de los hongos (Lee et al., 2025). Con la llegada de la agricultura digital, el uso de sensores inteligentes y sistemas automatizados basados en el Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una solución innovadora., ya que permiten el monitoreo y control del ambiente en tiempo real, mejorando el desarrollo de los cultivos y reduciendo el error humano (Foffano et al., 2025).

A pesar de estas ventajas, es necesario desarrollar equipos especializados y accesibles que logren mantener este control en las variables ambientales para producir o realizar investigación. Por lo cual, este trabajo muestra la metodología que se siguió en el diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y control ambiental. El propósito de este estudio es el diseño teórico de una cámara para morfogénesis fúngica inteligente, la cual incluya varios sensores y dispositivos de control para regular automáticamente las variables ambientales, para su posterior implementación. Se plantea como hipótesis que la implementación de este diseño conceptual permitirá una mayor estabilidad en las variables ambientales dentro de la cámara, mejorando las condiciones para el desarrollo fúngico en comparación con los métodos convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del diseño de la cámara de morfogénesis fúngica inteligente se centró en el control automático de las variables ambientales de cultivo de hongos. El desarrollo se dividió en cuatro fases principales: 1) Definición de requerimientos funcionales del sistema; 2) Diseño estructural y distribución interna del sistema; 3) Selección de materiales y componentes tecnológicos, y 4) Modelado 3D mediante herramientas de diseño asistido por computadora (CAD). Los requerimientos funcionales del sistema se definieron tomando en cuenta las condiciones ambientales necesarias para el crecimiento y desarrollo adecuado de hongos, tomando como

principal género el *Pleurotus sp*. En particular, se consideraron variables ambientales como TA, HR, la ventilación y la renovación del aire dentro de la cámara, ya que estos factores influyen directamente en la formación y calidad de los cuerpos fructíferos (Silva et al., 2024). También se buscó la distribución uniforme del microclima para evitar zonas con condiciones diferentes, que pudiera afectar el desarrollo del cultivo.

Para el caso particular del *Pleurotus sp*, se debe mantener la humedad relativa entre 85% y 95%, así como la temperatura entre 18 ºC y 25 ºC. Además, este tipo de hongos requieren mantener el CO_2 por debajo de 1000 ppm para evitar malformaciones en los cuerpos fructíferos (Lin et al., 2022). Para el diseño estructural de la cámara se tomó como base un contenedor metálico marítimo tipo FEU con dimensiones interiores de 12.03 m x 2.35 m x 2.39 m, el cual proporciona un volumen de 67.7 m^3 útiles para el cultivo de hongos. En su interior se colocaron estantes plásticos de cinco niveles capaces de sostener dos recipientes para cultivo por nivel. Esta configuración permite maximizar el aprovechamiento del volumen disponible y garantizar una adecuada circulación del aire en todos los niveles de cultivo. La distribución interna fue diseñada para mantener dos pasillos de mantenimiento, facilitando el acceso a los sistemas de monitoreo, humidificadores, aires acondicionados y ventilación.

El diseño del sistema de monitoreo y control ambiental, que se muestra en la Figura 1, se basó en una arquitectura de Internet de las Cosas (IoT) estructurada en tres capas, siguiendo el modelo propuesto por Sethi & Sarangi (2017), la cual permite el control automático del microclima para el desarrollo fúngico:

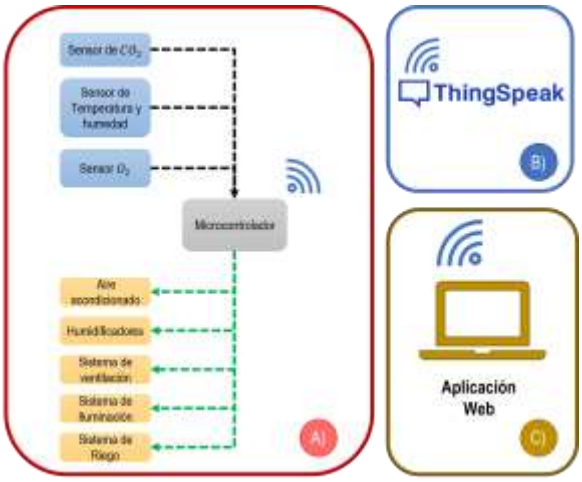


Figura 6. Arquitectura del sistema IoT propuesto: A) capa de percepción, B) capa de red, C) capa de aplicación

En la capa de percepción se integran sensores para la adquisición de datos de TA, HR, CO_2 y O_2 en tiempo real. Asimismo, se incluyen los dispositivos controlados encargados de ejecutar las acciones correctivas para mantener las variables dentro de los rangos recomendados de fructificación (18-25 °C y 85-95 % HR). Los

sensores fueron seleccionados priorizando que tuviesen una protección IP67 o superior para evitar fallos debido a la humedad presente en la cámara de morfogénesis y que puedan ser conectados mediante el protocolo de comunicación industrial MODBUS RS-485. El Cuadro 1 muestra los sensores propuestos, su modelo y sus rangos de medición.

Cuadro 3. Sensores propuestos para la medición de variables ambientales dentro de la cámara de morfogénesis.

Variable ambiental por medir	Modelo del sensor	Rango de medición
TA	JXBS-3001-TH-RS	-40 – 80 ◦C
HR		0% – 100% HR
CO_2	JXBS-3001-CO2-RS	0 – 5000 ppm
O_2	RS-O2-N01	0% – 25% Vol

Se plantea colocar tres juegos de sensores dentro del contenedor, con separaciones de 4 m entre ellas, asegurando de esa manera conocer el comportamiento de las variables ambientales a lo largo de la cámara de morfogénesis. Para el control de la temperatura, se plantea el uso de aires acondicionados. La selección del aire acondicionado se realizó a partir de una estimación de la carga térmica del sistema, considerando el volumen interno de la cámara (67.7 m^3). Para este análisis se empleó la ecuación 1. Obteniéndose una carga total estimada de 10.1 kW que equivale a 34,500 BTU/h ó 2.8 ton.

$$Q_{térmica} = V \cdot k \quad (1)$$

Donde $Q_{térmica}$ es la carga térmica que tendrá el contenedor (W), V es el volumen del contenedor (m^3) y k es el factor de carga térmica volumétrica (W/m^3), el cual representa las ganancias de calor asociadas a la radiación solar, condiciones ambientales externas, equipos instalados y actividad biológica dentro de la cámara. Tiene un valor aproximado de 150 W/m^3 ya que se trata de un espacio cerrado.

Con base en esto, utilizando un margen de seguridad, se seleccionó la implementación de dos unidades de aire acondicionado tipo minisplit de 1.5 ton cada una. Esta configuración permite no solo cubrir la demanda térmica del sistema, sino también mejorar la distribución del aire frío dentro de la cámara, favoreciendo la homogeneidad del microclima.

La capacidad de humidificación fue estimada considerando el volumen del sistema y las pérdidas de humedad asociadas a la ventilación y a la deshumidificación generada por los sistemas de aire acondicionado, obteniéndose una demanda aproximada entre 4 y 7 L/h. Con base a esto se plantea el uso de cuatro humidificadores ALK-MH-IN01, distribuidos en la cámara, los cuales cuentan con una capacidad aproximada de 1 L/h cada uno.

El sistema de ventilación fue diseñado para lograr una renovación completa del aire en un tiempo aproximado de 10 minutos, con el fin de evitar la acumulación de CO_2 dentro de la cámara. Considerando el volumen dentro de la cámara, se estimó un caudal de ventilación aproximado de 500 m^3/h utilizando la ecuación 2.

$$Q = \frac{60 \cdot V}{t} \quad (2)$$

Donde Q es el caudal de ventilación (m^3/h), V es el volumen de la cámara (m^3) y t es tempo de renovación del aire (min).

Por lo cual se propone utilizar dos extractores de aire de 6 in con capacidad de 520 m^3/h, ligeramente superior al valor obtenido, utilizando una configuración de un extractor de entrada de aire y uno de salida. Para el sistema de iluminación se plantea el uso de lámparas de luz fria (6500 K), priorizando una distribución uniforme dentro de la cámara para evitar zonas de sombra y garantizar un desarrollo homogéneo de los cultivos.

El sistema de riego es diseñado con una configuración de dos tuberías de distribución colocadas en el techo del contenedor. Cada línea tendrá aproximadamente 12 boquillas de microaspersión (una por metro), permitiendo una cobertura uniforme. El consumo aproximado de cada boquilla es de 0.15 L/min, resultando en un caudal aproximado de 4 L/min. Para garantizar la formación de niebla y evitar la generación de gotas grandes, se plantea el uso de una bomba capaz de suministrar presiones entre 4 y 6 bar.

Para la capa de red, la cual se encarga del procesamiento y la transmisión de la información, se propone un microcontrolador con conectividad wifi. Este dispositivo no solo ejecutará la lógica necesaria para el control de las variables ambientales en base a los datos obtenidos, sino que gestionará el flujo de datos desde los sensores hacia la plataforma web, garantizando una comunicación constante. Dentro de esta plataforma se plantea la programación de diversas alarmas para indicar si las variables ambientales se encuentran fuera de los rangos establecidos. Para la capa de aplicación, la cual representa la interfaz donde los datos se presentan al usuario, se plantea el desarrollo de una aplicación web responsiva, desde donde se visualicen los valores de las variables ambientales al interior de la cámara de morfogénesis fúngica, la visualización de las alertas y se pueda realizar la modificación de los rangos de operación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelado tridimensional conceptual de la cámara de morfogénesis fúngica se realizó mediante el software de diseño asistido por computadora (CAD) SolidWorks®, el cual permitió integrar los diferentes subsistemas necesarios para el control del microclima dentro de un contenedor metálico tipo FEU. La Figura 2 muestra el modelo CAD final propuesto, en el cual se observa la disposición de la estructura interna, así como la integración de los sistemas de Aire acondicionado, humidificación, ventilación, Iluminación, riego y sensado.

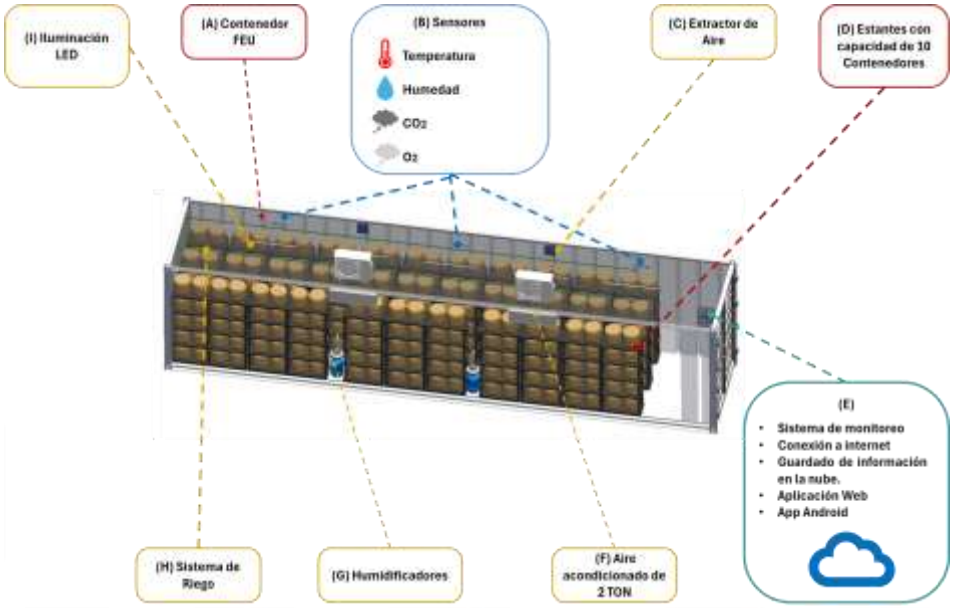


Figura 7. Modelado 3D de la cámara de morfogénesis fúngica.

En la Figura 3 se puede observar que las estanterías de cultivo se distribuyen a lo largo de los laterales del contenedor, permitiendo el aprovechamiento del volumen útil, dejando un pequeño pasillo inicial y dos pasillos centrales con el fin de facilitar las actividades de operación y mantenimiento de la cámara, favoreciendo de igual forma, la circulación del aire a lo largo del contenedor, que es fundamental para mantener homogéneas las variables ambientales.

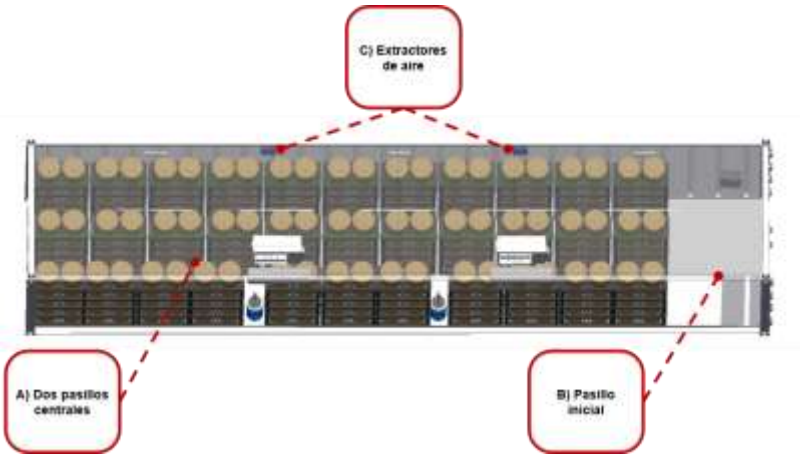


Figura 8. Distribución de la estantería de cultivo dentro de la cámara de morfogénesis fúngica.

En Cuanto al sistema de ventilación, el modelado contempla la implementación de los ventiladores o extractores de aire en una configuración de entrada y salida. A partir del dimensionamiento realizado, se obtuvo un caudal de ventilación aproximado de 500m^3/h, teniendo un tiempo de renovación del aire cercano a 10 min.

Favoreciendo el control del CO_2 y evitando perturbar en gran medida los controles de temperatura y humedad, para asegurar un desarrollo adecuado de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus spp.*

El sistema de riego se compone de dos líneas de distribución ubicadas en la parte superior del contenedor, las cuales cuentan con 12 boquillas de microaspersión cada una, ver en Figura 4, permitiendo cubrir homogéneamente el riego dentro de la cámara de morfogénesis.

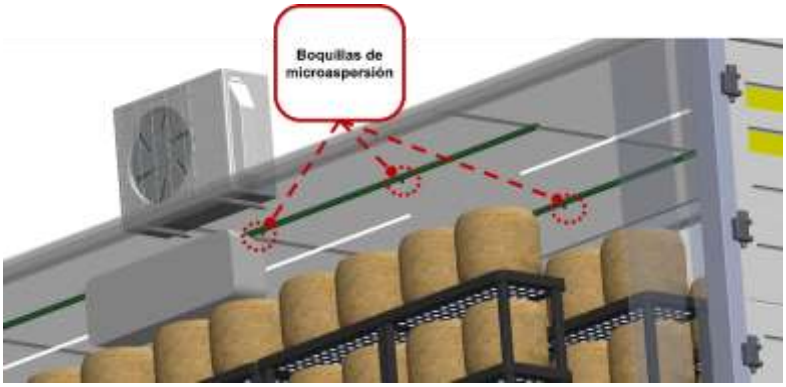


Figura 9. Sistema de riego.

Para el control de la temperatura, el modelo incorpora dos unidades de aire acondicionado tipo minisplit (ver Figura 2), cuya capacidad fue seleccionada con base en la estimación de la carga térmica del sistema, la cual fue cercana a 10.1 kW. La capacidad propuesta de 3 TON, permite mantener la temperatura dentro del rango recomendado de operación (entre 18 y 25 °C), considerando las posibles variaciones térmicas externas.

Asimismo, se integró un sistema de monitoreo basado en sensores distribuidos en tres grupos a lo largo del contenedor (Ver Figura 2), lo que permite la adquisición de datos en tiempo real de las variables ambientales como TA, HR, CO_2 y O_2. Esta disposición facilita la detección de variaciones en el microclima y permite la implementación de estrategias de control automático con el objetivo de mantener estables las variables ambientales.

CONCLUSIONES

El diseño conceptual de la cámara de morfogénesis fúngica permitió integrar los sistemas de ventilación, humidificación, riego, temperatura y sensado dentro de un contenedor tipo FEU, garantizando el control de las variables ambientales necesarias para el cultivo de Pleurotus spp.

La distribución propuesta favorece la homogeneidad del microclima, permitiendo mantener condiciones adecuadas de TA, HR y concentración de CO_2, aspectos fundamentales para el desarrollo adecuado de los cuerpos fructíferos.

Adicionalmente, la incorporación de una arquitectura basada en IoT proporciona una base para el monitoreo en tiempo real y el control automatizado del sistema, lo que representa una ventaja significativa frente a sistemas de cultivo convencionales.

En conjunto, el diseño desarrollado constituye una propuesta viable para la implementación de sistemas de producción fúngica en ambientes controlados, sentando las bases para futuras etapas de experimentación, optimización del control automático y escalamiento del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Foffano, M. O. A., Michel, R. C., Freire, D. M. G., & Cavalcanti, E. D. C. (2025). Design and Evaluation of a Compact IoT-Enabled Microfarm for Decentralized Urban Agriculture Applied to the Cultivation of Pleurotus ostreatus (Oyster Mushroom). *Sustainability*, *17*(22), 10332. https://doi.org/10.3390/su172210332

Jacob, M. S., Xu, A., Qian, K., Qi, Z., Li, X., & Zhang, B. (2025). Artificial Intelligence in Edible Mushroom Cultivation, Breeding, and Classification: A Comprehensive Review. *Journal of Fungi*, *11*(11), 758. https://doi.org/10.3390/jof11110758

Lee, K.-W., Park, C.-H., Lee, S.-C., Shin, J.-H., & Park, Y.-J. (2025). High Carbon Dioxide Concentration Inhibits Pileus Growth of Flammulina velutipes by Downregulating Cyclin Gene Expression. *Journal of Fungi*, *11*(8), 551. https://doi.org/10.3390/jof11080551

Lin, R., Zhang, L., Yang, X., Li, Q., Zhang, C., Guo, L., Yu, H., & Yu, H. (2022). Responses of the Mushroom Pleurotus ostreatus under Different CO2 Concentration by Comparative Proteomic Analyses. *Journal of Fungi*, *8*(7), 652. https://doi.org/10.3390/jof8070652

Romero, J., Oprea, O., Gaceu, L., Más Diego, S., Morris Quevedo, H., Galindo Alonso, L., Rivero Ramírez, L., & Badea, M. (2025). Edible Mushroom Cultivation in Liquid Medium: Impact of Microparticles and Advances in Control Systems. *Processes*, *13*(8), 2452. https://doi.org/10.3390/pr13082452

Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, *2017*, 1–25. https://doi.org/10.1155/2017/9324035

Silva, M., Ramos, A. C., Lidon, F. J., Reboredo, F. H., & Gonçalves, E. M. (2024). Pre- and Postharvest Strategies for Pleurotus ostreatus Mushroom in a Circular Economy Approach. *Foods*, *13*(10), 1464. https://doi.org/10.3390/foods13101464

Virágh, M., Merényi, Z., Csernetics, Á., Földi, C., Sahu, N., Liu, X.-B., Hibbett, D. S., & Nagy, L. G. (2022). Evolutionary Morphogenesis of Sexual Fruiting Bodies in Basidiomycota: Toward a New Evo-Devo Synthesis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *86*(1), e00019-21. https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-21

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ESTIMACIÓN DE LA PLOIDÍA EN FRESA (*Fragaria* spp.) MEDIANTE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Martha J. Diosdado-Montenegro[1]; Jorge E. Ruiz-Nieto[2]; Ana E. Rangel-Castillo[2]; María I. Laguna-Estrada[2]; María D. Hernandez-Ibarra[1]; Abel Ceron-García[3]. Autor de correspondencia: jorge.ruiz@ugto.mx

[1]Posgrado en Biociencias, Universidad de Guanajuato. Km 9 Irapuato-Silao, 36500, Ex-Hacienda El Copal, Irapuato, Guanajuato, México; [2]Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato, Km 9 Irapuato-Silao, 36500, Ex-Hacienda El Copal, Irapuato, Guanajuato, México; [3]Departamento de Alimentos, Universidad de Guanajuato, Km 9 Irapuato-Silao, 36500, Ex-Hacienda El Copal, Irapuato, Guanajuato, México.

RESUMEN

La ploidía es el número de juegos completos de cromosomas en un organismo y, en especies del género *Fragaria*, se asocia con variaciones en rasgos morfológicos reproductivos, como el tamaño y la forma de los granos de polen. Aunque la citometría de flujo es el método más utilizado para la estimación del nivel de ploidía, su implementación presenta limitaciones relacionadas con el costo del equipo y la complejidad en la preparación de muestras. El objetivo de este estudio fue automatizar la clasificación de los niveles de ploidía en fresa (*Fragaria* spp.) diploide y octoploide mediante el uso de técnicas de aprendizaje automático aplicadas al análisis de imágenes. Se utilizaron imágenes microscópicas de granos de polen para la extracción de características morfológicas cuantitativas, incluyendo área, perímetro, circularidad, diámetro equivalente y ejes mayor y menor, las cuales se emplearon como variables de entrada de un modelo de clasificación basado en máquinas de vectores de soporte (Support Vector Machine, SVM). Adicionalmente, se evaluó el desempeño de redes neuronales convolucionales (Convolutional Neural Networks, CNN) utilizando imágenes de flores como entrada directa al modelo. Los resultados mostraron que la clasificación de los niveles de ploidía mediante SVM a partir de imágenes de polen alcanzó una precisión global del 82 %, mientras que el modelo basado en CNN aplicado a imágenes de flores obtuvo una precisión del 59 %. Estos resultados indican que las características morfológicas cuantificables de los granos de polen constituyen descriptores más robustos para la estimación de la ploidía. No obstante, se identifica como principal desafío la capacidad de generalización de los modelos ante variaciones en las condiciones de adquisición de las imágenes. En conjunto, el estudio demuestra el potencial del aprendizaje automático como una herramienta alternativa, accesible y no destructiva para la estimación de la ploidía en fresa.

Palabras clave: *Ploidía, fresa, características morfológicas, aprendizaje automático, polen*

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

USO DE LA IA (*INTELIGENCIA ARTIFICIAL*) Y EL RENDIMIENTO ACADÉMICO EN ESTUDIANTES DEL TECNOLÓGICO DE ROQUE

Carmona Rodríguez Francisco Javier[1]; Landin Ramírez Paloma Yarieth[2]; Morin Nolasco Yurianna Alexandra[3]; Valdez Centeno Karla Ivett[4]; Villanueva Amador Mariana[5]; Rodriguez Segura Erik Fabian[6]

Tecnológico Nacional de México-Roque, Carretera-Celaya-Juventino Rosas S/N, C.P.38110, Celaya Guanajuato. Ingeniería En Gestión Empresarial
I23980169@roque.tecnm.mx

RESUMEN

En un mundo donde la Gestión Empresarial se entrelaza cada vez más con la ciencia de datos, surge una inquietud clave: muchos estudiantes utilizan herramientas de Inteligencia Artificial sin guía clara, lo que puede llevar tanto a mejoras en su aprendizaje como a una dependencia que afecte su desarrollo académico (Nilsson, 2010). Esta situación plantea la necesidad de comprender si su uso realmente contribuye al rendimiento escolar o si, mal empleada, limita el aprendizaje. Ante esta problemática, el estudio tiene como objetivo general analizar el uso de herramientas de Inteligencia Artificial y su impacto en el rendimiento académico en los estudiantes de IGE del Instituto Tecnológico de Roque, durante el semestre Agosto-Diciembre 2025.

Palabras clave: *Estudiantes, gestión, inteligencia artificial, rendimiento académico.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) ha experimentado un crecimiento acelerado, transformando distintos sectores de la sociedad, entre ellos el educativo. A partir del lanzamiento y popularización de herramientas como Chat GPT®, Grammarly® y Google Ge minimi®, los estudiantes han incorporado sistemas inteligentes como apoyo en la realización de tareas, investigaciones, resolución de problemas y generación de contenidos académicos. Por ello, esta investigación busca determinar si esta tecnología actúa como un catalizador de habilidades cognitivas superiores o como un mecanismo que diluye el esfuerzo intelectual y la originalidad. La relevancia de este análisis es doble, por un lado, busca cuantificar el impacto positivo en la productividad del alumnado, observando como la automatización de tareas operativas permite en enfoque de algo más profundo en la toma de decisiones estratégica. (roque.tecnm.mx, 2026). Es así como se exploran las implicaciones éticas y el riesgo de una brecha de aprendizaje derivada de la dependencia tecnológica.

Se observa una tendencia positiva, ya que en la mayoría de la muestra tomada se reporta un uso frecuente de la IA y al mismo tiempo presentan un ligero aumento en promedios académicos. Coincidiendo con la idea de que la IA podría funcionar como un apoyo en cuanto al aprendizaje autónomo, facilitando así diversas tareas. Aunque de igual manera se logro detectar que si bien son herramientas muy útiles, aun no están completamente integradas en las practicas educativas. Para ello se muestra el siguiente gráfico: El uso de la Inteligencia Artificial se ha consolidado como un pilar en la formación de los

estudiantes de la Ingeniería en Gestión Empresarial, transformando la manera en que desarrollan sus competencias académicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un enfoque mixto, cualitativo de tipo descriptivo-correlacional, para identificar patrones de uso de la Inteligencia Artificial y su relación con el rendimiento académico (McCarthy, 2026). Además, se realizó un análisis bibliométrico con apoyo de la herramienta (Researchrabbit 2026), permitiendo contextualizar antecedentes de la IA. Por otro lado, se integró un enfoque cuantitativo para medir el impacto del uso de estas herramientas en los estudiantes. El estudio fue no experimental y transversal, ya que no se manipularon las variables y la recolección de datos se realizó mediante un formulario digital en 9 ítems con un alcance del 35% de los estudiantes actualmente matriculados en la carrera de IGE, distribuido en plataformas como WhatsApp, Instagram, Facebook y X. A partir de ello, se realizó un análisis comparativo de calificaciones antes y después del uso frecuente de IA, así como la evaluación del desempeño en tareas y proyectos, permitiendo identificar la relación entre ambas variables, estas variables se definieron de la siguiente manera; variable independiente: Uso de herramientas de Inteligencia 1) Artificial; 2) Variable dependiente

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten analizar le relación entre el uso de herramientas de IA y el rendimiento académico de los estudiantes de IGE del ITR. En general La incorporación de los modelos de lenguaje y sistemas analíticos ha impulsado un cambio de paradigma en la educación superior, específicamente en áreas clave como finanzas, producción y capital humano. En este contexto, el rendimiento académico ya no puede evaluarse únicamente mediante indicadores tradicionales, donde debe considerar el impacto de estas nuevas herramientas tecnológicas. La IA, bien utilizada, ofrece un gran potencial para mejorar el proceso educativo, al permitir la automatización de evaluaciones, brindar retroalimentación inmediata y favorecer la personalización del aprendizaje.

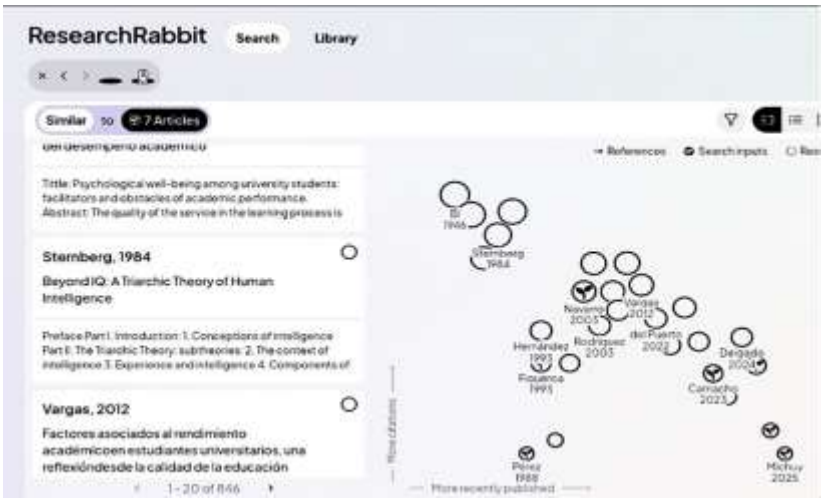


Figura 1. Análisis bibliométrico

Rendimiento académico

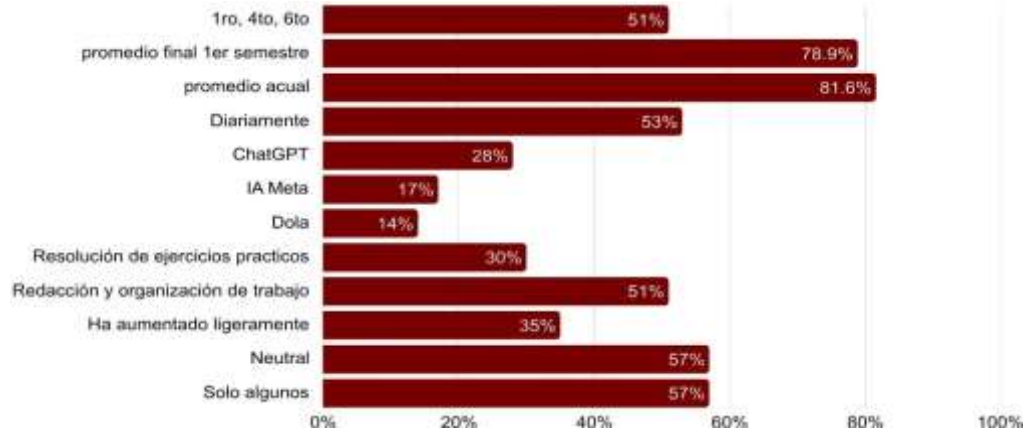


Figura 2. Usos de la IA en el rendimiento académico

CONCLUSIONES

El uso de herramientas de IA y el rendimiento académico de los estudiantes de IGE del ITR, incorpora modelos de lenguaje y sistemas analíticos ha impulsado un cambio de paradigma en la educación superior, en áreas clave como finanzas, producción y capital humano. El rendimiento académico ya no puede evaluarse únicamente mediante indicadores tradicionales. La aplicación de la IA, es una herramienta potencial para mejorar el proceso educativo, automatiza las evaluaciones, brindar retroalimentación inmediata y personaliza el aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

John McCarthy. Marvin Minsky, N. R. (2026). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial

Intelligence. Obtenido de Dartmouth Collage

Nilsson, N. J. (2010). The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements. Recuperado el 2026, de Cambrige University Press

Norving, S. J. (2021). Artificial Intelligence: A Moderm Approach

Researchrabbit (2026). Obtenido de https://app.researchrabbit.ai/search/92099ffd-7488-45f5-bf74-5578190d85b2/1

TecNM Roque. (2026). Obtenido de: roque.tecnm.mx, recuperado el 26 de 01 de 2026

Villanueva, A. M. Gráficos, obtenidos de https://canva.link/nmi4yxn1ucfhqmn



Ciencias Económico Administrativas en el Sector Agroalimentario

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE FACTORES MACROECONÓMICOS EN PYMES (CASO DE ESTUDIO MUNICIPIOS DE CELAYA, GIRARDOT)

Cristian Yair León Amórtegui[1], Erik Fabian Rodriguez Segura[2], Wendy Mondragón Moreno[3], Laura Cupul Moreno[4], Maria Eugenia Gallardo Rodriguez[5], Saul Armando Cerca Vazquez[6]

[1]Estudiante de Administración de Empresas. Universidad de Cundinamarca. Sede Fusagasugá (Principal). Pasantia/Residencia en el Tecnológico Nacional de México Roque, Carretera Celaya, Juventino Rosas, S/N, CP. 38110. Carrera de Ingenieria en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: cyleon@ucundinamarca.edu.co

RESUMEN

Esta investigación, se enfoca en el análisis cualitativo del concepto de pymes (bancomundial.org, 2026), entre los países de Colombia y México, estableciendo tres factores; económicos, sociales, tecnológicos. Se tomaron como referencia estudios establecidos hacia el tema de las pymes dándonos un paralelo razonable para adoptar diferentes conjeturas dictaminadas por las mecánicas establecidas de los mercados de carácter capitalista. esto se entabla en un marco metodológico, que se aborda desde un foco tanto cuantitativo como cualitativo no experimental. La hipótesis es que existe una diferenciación del concepto pyme en los países mencionados, para este propósito se hizo un formulario donde se agregaron 3 factores con 16 ítems de recolección de datos donde se tienen unos pesos porcentuales para cada uno de los factores se intenta segmentar la importancia de cada uno para las pymes ya establecidas permitiendo concluir las necesidades primordiales en las cuales se sustenta este análisis no experimental. La intención de la investigación es desarrollar estrategias desde un enfoque cualitativo para impulsar estos sectores tan necesarios para los países nombrados, estos representan un gran cantidad de sus ingresos generales en las diferentes áreas que pueden evidenciar problemáticas de desarrollo integrados a las diferentes áreas de foco en el estudio de este análisis y con ello permitan mejorar las diferentes necesidades de las pymes, constituidas en los contextos entre Colombia y México, establecida la raíz de manera conceptual. El análisis concluye que hay grandes falencias en las áreas establecidas por el estudio donde se puede generar las siguientes conjeturas. La falta de implementación de programas gubernamentales no permite el crecimiento de las pymes en sus etapas más tempranas este fenómeno se da a la prioridad que se le otorga por medio los lideres de las pymes, priorizando temas de pagos de nómina, pasivos adquiridos y diferentes factores en los cuales la tecnificación y la inversión de la pyme no es una prioridad inmediata dada la naturaleza costosa que puede llegar a ser la implementación de sistemas de tecnificación en las organizaciones, el conocimiento necesario para implementar recursos de inversión no son suficientes. De esta manera estableciendo oportunidades de mejora en estos sectores organizaciones.

Palabras clave: *Benchmarketing, capacidad operativa, egresos, ingresos, pyme*

ABSTRACT

This research focuses on the qualitative analysis of the concept of SMEs (bancomundial.org, 2026) in Colombia and Mexico, establishing three factors: economic, social, and technological. It draws on studies related to the topic of SMEs, providing a reasonable parallel to adopt different conjectures dictated by the established mechanics of the markets. This is framed within a methodological approach that addresses both quantitative and qualitative perspectives, through the design of a data collection tool that assigns percentage weights to each factor, attempting to segment the importance of each for already established SMEs. This allows for the identification of the primary needs that underpin this non-experimental analysis, in order to promote these sectors that are so essential for countries where they represent a significant portion of total revenues across different areas, where development issues may be evident. These issues are integrated into the different focus areas of this study's analysis, thereby helping to address the various needs of SMEs operating in the contexts of Colombia and Mexico.

Keywords: *Benchmarking, operational capacity, expenditures, income, SME*

INTRODUCCIÓN

El concepto de pequeñas y medianas empresas (pymes) representan más de la mitad de los puestos de trabajo formales en el mundo, estas empresas brindan soluciones eficaces a cuestiones fundamentales del desarrollo, como el acceso a energía limpia y agua potable, servicios sanitarios y educación (bancomundial.org, 2026), esta división se realiza con el fin de que las instancias económicas en los paises tengan un censo para proporcionar ayuda a las pymes innovadoras, las empresas emergentes y los emprendedores. Con lo anterior se establece la línea de relación estrecha entre los conceptos que se tienen en el contexto global sobre las pymes o unidades de crecimiento económico de cada uno de los países. Por ello es de gran importancia establecer un análisis que permita evidenciar las diferencias que tienen en sus contextos originales el concepto, permitiendo una correcta correlación en las variantes conceptuales que se puedan generar en esta discusión. Para Colombia (mipymes.gov.co, 2026), las pymes se clasifican en tres categorias; Por su tamaño, poder adquisitivo y gran magnitud en personal (*de esta clasificación se pueden derivar en pequeñas, medianas y grandes*), empresas legalmente constituidas por medio de la Cámara de Comercio Colombiana (mipymes.gov.co, 2026). En su contra parte las pymes mexicanas (gob.mx/se, 2026) le dan un sentido mucho más amplio al concepto de pyme estos pueden tener desde una sola persona hasta un máximo de 250.

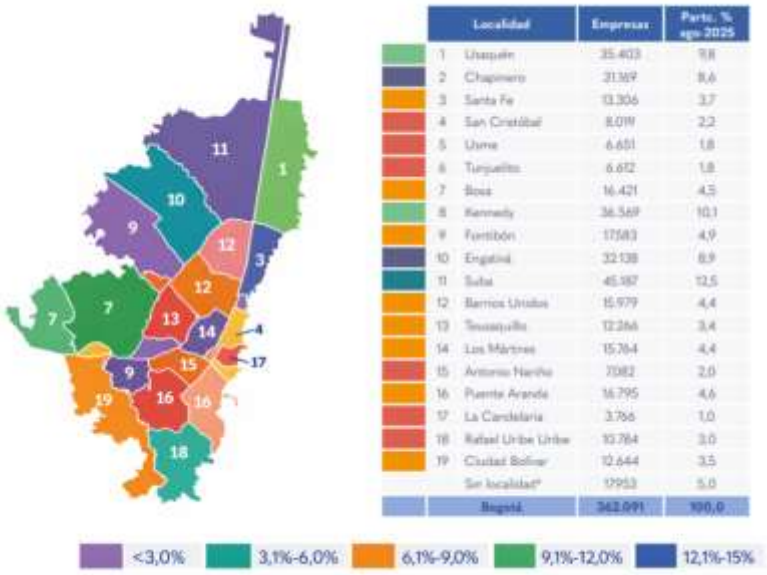


Figura 1. Localidades de Bogotá, Colombia. Fuente: (Ramírez, 2025).

De esta manera tomando como referencia estudios establecidos hacia el tema de las pymes dándonos un paralelo razonable para adoptar diferentes conjeturas dictaminadas por las mecánicas establecidas de los mercados, esto se entabla en un marco metodológico, que se aborda desde un foco tanto cuantitativo como cualitativo este se da por medio del diseño en base a una herramienta de recolección de datos donde se tienen unos pesos porcentuales para cada uno de los factores donde se intenta segmentar la importancia de cada uno para las pymes ya establecidas permitiendo concluir las necesidades primordiales en las cuales se sustenta este análisis no experimental. Para poder impulsar estos sectores tan necesarios para los países donde estos representan una gran cantidad de sus ingresos generales en las diferentes áreas que pueden evidenciar problemáticas de desarrollo integrados a las diferentes áreas foco del estudio de este análisis, de sus mismos ingresos. Representando de este modo más del 99 % de la fuerza laboral del país (Secretaría de Economía Gobierno, 2026). Se puede evaluar un ejemplo particular en Bogotá donde podemos evidenciar la capacidad de acción que se tiene en cuanto a las pymes que estarían distribuidos en la capital permitiéndonos evidenciar si vale la pena comenzar a evaluar estas situaciones. Entablado las diferencias en los conceptos que se tiene como particularidad en lo que se conoce como pymes, se evidencian ciertos alcances dentro de la infraestructura tanto colombiana, como mexicana, esto ofrece una claridad donde el alcance pude llegar al tener en un futuro donde se implementen estrategias de benchmarking bilaterales de los países para poder mejorar en cuanto a la tecnificación del sistema financiero y fiscal. Con lo anterior, este tipo de ejemplos podemos se puede evidenciar un panorama aprovechable para poder determinar los factores cruciales en el éxito de la determinación de las pymes en cada uno de los países bajo estos mimos ámbito se nos propone una serie de casos de estudio que se han hecho en ambos contextos, por ello ambos puntos de vista en las diferentes áreas

de las pymes, sus programas de apoyo, en diferentes programas gubernamentales el cómo se determina el concepto.

Cuadro. 1. Políticas Gubernamentales países Colombia – México.

Elemento	Colombia	México
Marco legal	Reguladas principalmente por la Ley 905 de 2004.- Clasificación basada en número de empleados y activos. Apoyo a través de políticas integradas dentro de planes nacionales de desarrollo.	Reguladas por la Ley para el Desarrollo de la Competitividad de las MiPyMEs (2000/2009). Clasificación basada en empleo, ventas y sector económico. - Políticas coordinadas por la Secretaría de Economía.
Diferencial (características clave)	Fuerte enfoque en políticas públicas e innovación. Alta informalidad empresarial. - Dificultad de acceso a financiamiento (solo ~44% solicita crédito). Menor participación en exportaciones	Mayor integración al mercado interno y exportador. Programas para impulsar competitividad y digitalización. Reducción reciente de recursos institucionales para apoyo. También enfrenta alta informalidad.
Número de empresas	Aproximadamente 2.5 millones de MiPyMES.	Más de 4 millones de unidades económicas (mayoría MiPyMES).
Participación en empresas totales	Más del 90% del tejido empresarial.	Más del 90% de las empresas del país.
Generación de empleo	Aproximadamente 80% del empleo.	Aproximadamente 80% del empleo.
Aporte al PIB	Cerca del 40% del PIB.	Aproximadamente 50% del PIB.
Participación en exportaciones	Baja: solo 20% de PyMES exportan y microempresas ~3%	Limitada: PyMES generan cerca del 9% de exportaciones manufactureras.
Fortalezas	Marco institucional sólido. - Incentivos a innovación (beneficios tributarios).	Mayor tamaño de mercado. Mejor integración en cadenas productivas. Clasificación más sectorizada.
Debilidades	Problemas de financiamiento. Alta informalidad. Baja internacionalización.	Reducción de apoyos institucionales. Persistencia de informalidad. Baja participación exportadora.

Fuente: Tomado de INADEM, OECD (tlcmagazinemexico.com.mx, 2026).

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología fue un diseño no experimental, realizado en un Google Forms®, en escala de Likert para evaluar actitudes, opiniones o comportamientos, pidiendo a los encuestados califiquen su grado de acuerdo o

desacuerdo frente a una afirmación, considerando desde un extremo negativo a uno positivo, permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión (Sampieri, 2018). Para el primer formulario se estructura por dos aspectos importantes; el primer formulario, está más enfocado en seis aspectos orientados a la diferencia de pymes que existen entre Colombia y México. El segundo consto de 16 ítems, estructurados de la siguiente manera, En el área de los ítems 1,2,3 es la relación de la similitud que se tiene la supervivencia de las organizaciones en cuanto al contexto en el que se establecieron. Permitiéndonos poder identificar las diferentes variables que pueden surgir en las problemáticas orientadas a las pymes. En esta área de investigación planteamos uno de los pilares más importantes en el esquema social, son preguntas orientadas a conocer la composición social de la organización permitiendo establecer una relación directa para el establecimiento de la organización a partir de su grado de supervivencia. Se evalúa el grado de tecnificación desde un enfoque cuantitativo y cualitativo no experimental que nos permite determinar qué tan competitiva puede llegar a ser la organización en su entorno inmediato. Los primeros resultados de interés que se obtuvieron al realizar la primera encuesta se decidió hacerle modificaciones al instrumento de recopilación de los datos en Forms® donde se decidió dejar tres áreas clave de análisis las cuales fueron de corte social, económico, y de tecnificación de esta manera intentado él acércanos de manera más efectiva a los principales actores de la encuesta para poder socavar una mayor muestra para el posterior análisis. Dentro de las áreas que tenemos presentes son. Social: en esta área se pretende analizar los diferentes factores en los cuales se componen las pymes de manera social, en las cuales se visualizan en el cuadro dos permitiendo indagar en las diferentes cargas sociales como el origen de la muestra para este caso estamos hablando que al momento de la toma de la prueba es del 73% donde se ubica la mayor cantidad de la prueba la cual es de México. Permitiendo de esta manera entablar uno de los paralelos más evidentes los cuales permiten comenzar a entablar una serie de conjeturas en cuanto al contextos. También manejamos la indagación en diferentes factores como los Factores en porcentaje de personas cabeza de Hogar para poder analizar las diferentes eventualidades de la problemática social en cuanto al porcentaje de posibles necesidades de los Hogares, En la segunda área de trabajo es el área del factor económico que se componen de los elementos de la herramienta de recolección de datos los cuales se visualizan en los cuadros tres, En estas preguntas analizamos los diferentes factores del área económica, el cual es uno de los rublos de desempeño de las, pymes, con mayor componente que puede consumir en las organizaciones, Cual es la prioridad económica de la organización en cuanto la rentabilidad de la pyme Para el área tecnológico está compuesta de diferentes componentes dentro de la herramienta de recolección de datos estos está se visualiza en el cuadro cuatro estas están enfocada en analizar el grado de tecnificación de las pymes y si tienen o han tenido problemas con sus sistemas de implementación para el desarrollo tecnológico.

Cuadro 2. Análisis de factores organizacionales

Factor social		
Concepto	Descripción	Porcentaje
PB	Este es el factor que nos permite poder ponderar cuanto es la muestra entendida dentro del ejercicio	56%
TR	Es la cantidad de trabajadore a los que pertenece en promedio en las organizaciones encuestadas	78%
TND	Es la tendencia que se encuentra en la composición de los trabajadores en cuanto a su situación financiera	67%
FPC	Este factor mide el porcentaje de atraso de las pymes en cuento a la capacitación, y la contratación del personal competente	78%

PB (%) = Población, este es el factor que nos permite poder ponderar cuanto es la muestra entendida dentro del ejercicio. TR (%) = Trabajadores, es la cantidad de trabajadore a los que pertenece en promedio en las organizaciones encuestadas. TND (%) = Tendencias, es la tendencia que se encuentra en la composición de los trabajadores en cuanto a su situación financiera%. FPC (%) = Factor de porcentaje, donde este factor mide el porcentaje de atraso de las pymes en cuento a la capacitación, y la contratación del personal competente. Fuente (elaboración propia).

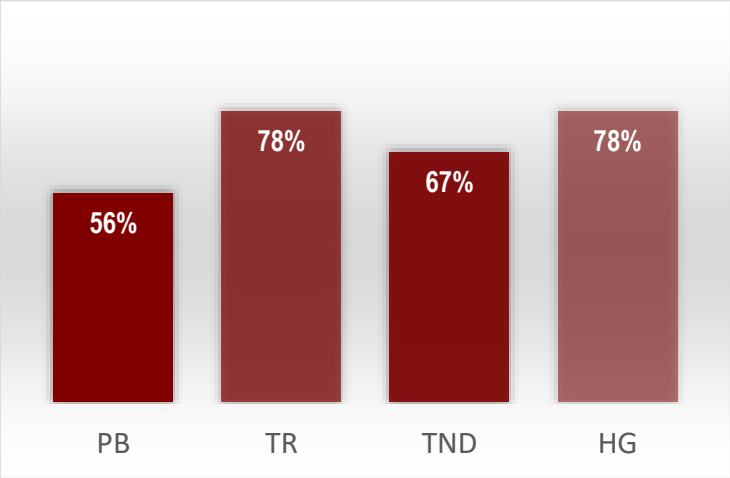


Figura 2. Porcentaje de medición en los factores sociales. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Análisis de los factores económicos en las organizaciones.

Factor económico		
Concepto	Descripción	Porcentaje
ADT	Esta es la pregunta, aclaratoria de los rublos donde mayor mente se maneja la muestra en cuanto a las pymes de los contextos colombianos y mexicanos.	60%
PEI	Prioridad de gasto en las diferentes pymes.	66%
TDI	Prioridad de pago en cuanto a las diferentes obligaciones de las pymes en el contexto colombiano y mexicano.	33%
DDT	percepción de las pymes en cuanto a la tecnificación de las pymes para el desarrollo organizacional.	78%
PSDP	Factor de conciencia sobre, incrementos del IPC en el entorno empresarial.	56%
GDFC	Esta es la percepción de los lideres de las pymes en cuanto al grado de factibilidad de sus organizaciones en cuanto al acceso a productos crediticios.	44%
GDG	En este factor se analiza el grado de gasto o inversión que tiene el gobierno en cuanto a las pymes en sus diferentes contextos.	66%

PB (%) = Población, este es el factor que nos permite poder ponderar cuanto es la muestra entendida dentro del ejercicio. TR (%) = Trabajadores, es la cantidad de trabajadore a los que pertenece en promedio en las organizaciones encuestadas. TND (%) = Tendencias, es la tendencia que se encuentra en la composición de los trabajadores en cuanto a su situación financiera%. FPC (%) = Factor de porcentaje, donde este factor mide el porcentaje de atraso de las pymes en cuento a la capacitación, y la contratación del personal competente. Fuente (elaboración propia).

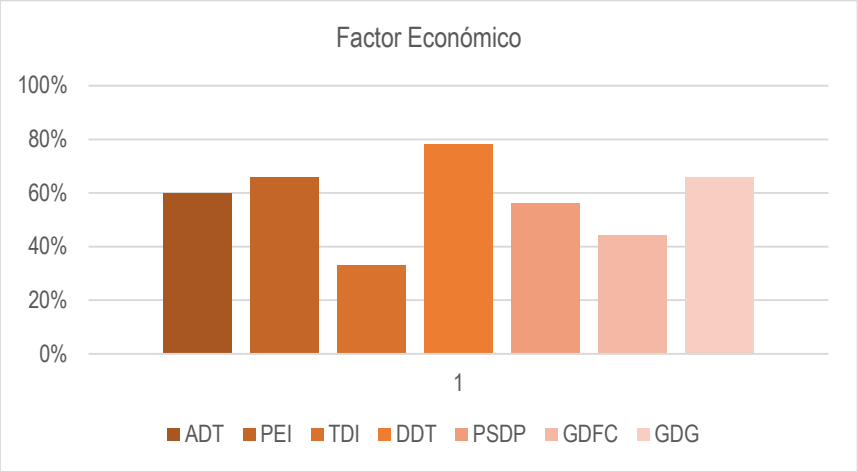


Figura 3. Porcentaje del grado de tecnificación de las PYMES. Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Factores de análisis en los factores tecnológicos de las organizaciones.

Factor de tecnificación		
Concepto	Descripción	Porcentaje
PDT	Factor que analiza el grado de dificultad en la tecnificación de las organizaciones.	44%
PCT	Principales obstáculos a la hora de implementar procesos de tecnificación.	78%
GDAT	Percepción en cuanto al grado de competitividad de las pymes en su sector de desarrollo.	67%
GTC	Percepción sobre su posible rezago en las organizaciones en cuanto al área técnica.	33%
GDAFT	Grado de disposición en las organizaciones, para la implementación de las tecnologías,	56%

PB (%) = Población, este es el factor que nos permite poder ponderar cuanto es la muestra entendida dentro del ejercicio. TR (%) = Trabajadores, es la cantidad de trabajadore a los que pertenece en promedio en las organizaciones encuestadas. TND (%) = Tendencias, es la tendencia que se encuentra en la composición de los trabajadores en cuanto a su situación financiera%. FPC (%) = Factor de porcentaje, donde este factor mide el porcentaje de atraso de las pymes en cuento a la capacitación, y la contratación del personal competente. Fuente (elaboración propia).

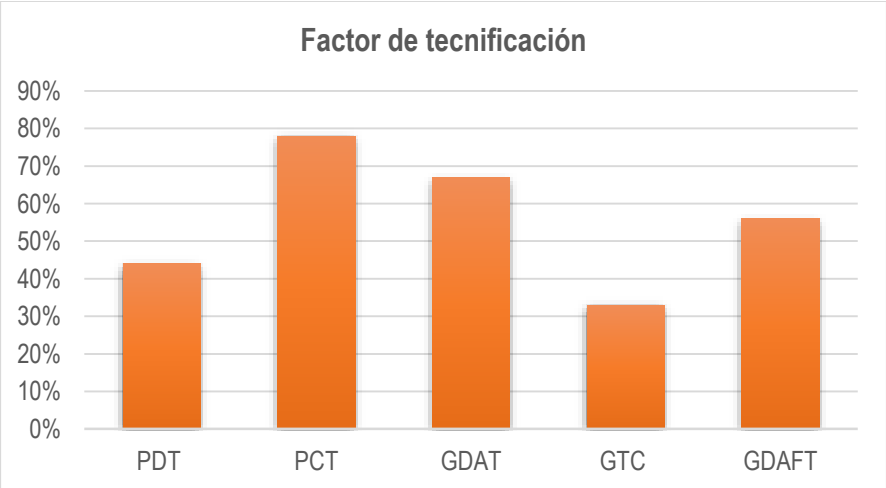


Figura 4. Porcentajes de tecnificación. Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se relacionaron tres factores de los 16 ítems realizados; el primer factor es el social, el segundo factor es el factor económico () el tercer factor es el grado de tecnificación, estos factores nos permiten poder hacer un análisis de manera exploratoria no experimental donde podemos comenzar tomar diferentes resultados en los cuales nos arroja que la prioridad de las organizaciones se pueden centrar en estos ejes planteados anteriormente que se pueden evidenciar en las figuras anteriormente expuestas, donde se evidencia una clara conducta a la resistencia en la evolución de las organizaciones en esas áreas, ya sea por el sobre costos de tecnificación que no permite que las pymes puedan evolucionar a una fase mucho mas madura en cuanto a la diversidad de la implementación debido a la exploración de las demás áreas podemos identificar varias problemáticas en el sentido del factor económico donde se pueden atribuir según la herramienta de recolección de datos , a una incapacidad de los apoyos gubernamentales los cuales podemos se visualizan a la percepción que se ve en la figura tres la cual muestra según el referente del cuadro tres la percepción que tienen los lideres de estas organizaciones dada la frustración al poder acceder al mercado financiero para poder potenciar el crecimiento de sus organizaciones, en el factor numero tres el cual es el grado de tecnificación en las organizaciones, se demuestra el grado de importancia de la tecnificación de las organizaciones por medio de su contexto, y la competitividad analizando factores como la importancia de la tecnificación de las organizaciones, grado de dificultad en la implementación de tecnologías que vayan a fin de la organización, comparando el grado de inversión que se ve en las pymes de Colombia /México y la disposición de inversión que tienen los lideres de las mismas esta se pueden visualizar por medio de el cuadro numero y la figura numero 4 que nos permiten de manera grafica el poder mostrar las aseveraciones anteriores.

CONCLUSIONES

Dentro de las diferentes Herramientas que se pueden identificar en las problemáticas ya establecidas podemos ver cómo como en este estudio tanto cuantitativo como cualitativo no experimental se ve como por medio de las herramientas metodológicas y el instrumento de medición podemos establecer paralelos en las diferentes áreas de investigación, los cuales pertenecen a las áreas económicas, sociales, y de tecnificación de las organizaciones demostrando la necesidad de las diferentes divergencias económicas de cada una de las opciones pre establecidas se puede ver una necesidad consecuente sobre la importancia de poder invertir mayor esfuerzo en las área ya analizadas promoviendo como factor único la manera de poder establecer similitudes que se encuentren en ambos contextos. Así de esta manera desarrollar diferentes espacios, opciones, y estrategias de las cuales se pueden promover diferentes programas de gobiernos enfocados en el crecimiento de las mismas subyacentemente se puede concluir que este estudio puede ser la base de una metodología aun mayor permitiendo forjar metodologías de campo de trabajo que logren el impulso más

exploratorio en la inversión de estudios que puedan tener mucho más asertividad expresadas en diferentes parámetros establecidos, claros ejemplos que podemos derivar del ejercicio es la necesidad de que las pymes puedan entrar a programas gubernamentales que les puedan apoyar en la implementación y tecnificación de sus procesos, permitiendo una clara expansión en la competitividad del sector en el cual se implemente, que a su vez podría determinar una industrialización competente para poder lidiar con las problemáticas subyacentes

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Definición Tamaño Empresarial Micro, Pequeña, Mediana o Grande | Mi Pymes. (2026). Recuperado 2026, de https://www.mipymes.gov.co/temas-de-interes/definicion-tamano-empresarial-micro-pequena-median

Dirección de Mipymes | Mi Pymes. (s. f.). Recuperado 13 de febrero de 2026, de https://www.mipymes.gov.co/direccion-de-mipymes

Ramírez, A. J. L. M. (2025, septiembre 15). Las empresas activas y vigentes crecieron 1,1% en agosto de 2025 – Observatorio de Desarrollo Económico. https://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/publicaciones/boletines/las-empresas-activas-y-vigentes-crecieron-11-en-agosto-de-2025/

Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill. Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

Secretaría de Economía | Gobierno | gob.mx. (2026). Recuperado de: https://www.gob.mx/se

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS INTELIGENTES EN EL ÁREA DE LOGÍSTICA EN MÉXICO (2023-2025)

Ana Jacqueline Bárcenas Ángel[1]; María de Jesús Nuñez Vega[2] ;Natalia Lara Sanchéz[3]

Tecnológico Nacional de México Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Celaya, México. Carrera; Ingeniería en Gestión Empresarial. Autor de correspondência: L23980554@roque.tecnm.mx

RESUMEN

En el presente estudio se analiza la optimización de procesos inteligentes en la logística mexicana, con un énfasis en la región Bajío, durante los años 2023-2025, período definido por el auge del nearshoring (45 mil millones USD invertidos, SCT 2025) y desafíos presentes como la inseguridad vial (45% rutas afectadas, SESNSP 2024), escasez de talento digital (solo 22% personal calificación, ITG 2024) y congestión en clave corredores (Celaya-Silao). Su importancia radica en potenciar la competitividad nacional ante la revisión del T-MEC 2026, mediante tecnologías emergentes como IoT para rastreo en tiempo real, IA predictiva para rutas óptimas y blockchain para trazabilidad inmutable, alineándose con metas de reducción de costos logísticos del 16% PIB (INEGI 2024). El objetivo principal es evaluar el impacto cuantitativo de estas innovaciones en eficiencia operativa (tiempos de entrega), trazabilidad (errores rutas) y reducción de costos (MXN/km). Los secundarios incluyen la identificación de brechas de adopción y barreras regionales. Metodológicamente, se realizó revisión sistemática de 45 literatura académica y 28 informes sectoriales (2023-2025, bases Scopus/Web of Science), complementada con análisis documental de datos secundarios de CONALOG, Clúster Industrial Bajío, INEGI y SCT (n=15,000 registros). Se aplicó análisis cualitativo temático (NVivo 14) y cuantitativo descriptivo-inferencial (SPSS: ANOVA, regresión, $p<0.05$). Los resultados revelan digitalización incipiente (15% empresas en transformación plena, 70% camiones IoT en grandes firmas), con reducciones de 25-30% en tiempos de entrega (45h a 34h) y 20-40% en costos (12.5 a 10 MXN/km) vía IoT/IA, aunque 84% PYMES dependen de Excel y enfrenta inseguridad. Se interpreta que fortalecen la resiliencia ante las disrupciones, pero las brechas limitan escalan. Como aportación, proporciona marco analítico para políticas logísticas, facilitando indexación en bases especializadas y guías para nearshoring.

Palabras clave: *optimización inteligente, IoT logística, nearshoring Bajío, IA predictiva, competitividad T-MEC*

ABSTRACT

This study analyzes the optimization of intelligent processes in Mexican logistics, emphasizing the Bajío region, during 2023-2025 a period defined by nearshoring growth (45 billion USD invested, SCT 2025) and persistent challenges like road insecurity (45% routes affected, SESNSP 2024), digital talent shortage (only 22% qualified personnel, ITG 2024), and congestion on key corridors (Celaya-Silao). Its importance lies in enhancing national

competitiveness ahead of the 2026 T-MEC review, through emerging technologies such as IoT for real-time tracking, predictive AI for optimal routes, and blockchain for immutable traceability, aligning with goals to reduce logistics costs from 16% of GDP (INEGI 2024). The main objective was to quantitatively assess the impact of these innovations on operational efficiency (delivery times), traceability (route errors), and cost reduction (MXN/km). Secondary objectives included identifying adoption gaps and regional barriers. Methodologically, a systematic review of 45 academic papers and 28 sectoral reports (2023-2025, Scopus/Web of Science databases) was conducted, complemented by documentary analysis of secondary data from CONALOG, Bajío Industrial Cluster, INEGI, and SCT (n=15,000 records). Qualitative thematic analysis (NVivo 14) and descriptive-inferential quantitative analysis (SPSS: ANOVA, regression, $p<0.05$) were applied. Results reveal incipient digitalization (15% firms in full transformation, 70% trucks with IoT in large companies), with 25-30% reductions in delivery times (45h to 34h) and 20-40% in costs (12.5 to 10 MXN/km) via IoT/AI, though 84% SMEs rely on Excel and face insecurity. It is interpreted that they strengthen resilience against disruptions, but gaps limit scalability. As a contribution, it provides an analytical framework for logistics policies, facilitating indexing in specialized databases and guidelines for nearshoring.

Key words: *intelligent optimization, IoT logistics, Bajío nearshoring, predictive AI, T-MEC competitiveness.*

INTRODUCCIÓN

La logística en México representa un pilar fundamental e importante de la economía nacional del país, contribuyendo con un aproximado del 15% del PIB en 2025 y facilitando el 80% de las exportaciones manufactureras (Clúster Industrial, 2026). Sin embargo, en el período 2023-2025 ha evidenciado una problemática crítica: ineficiencias estructurales agravadas por la inseguridad en carreteras, escasez de 28,000 conductores certificados y alteraciones globales post-pandemia, que elevaron los costos operativos en un 12-20% anual (CONALOG, 2025). La región Bajío, integrada por Guanajuato, Querétaro y Aguascalientes, contribuye con el 12% del PIB logístico nacional, procesando 25 millones de toneladas anuales (INEGI, 2024). Sin embargo, persisten ineficiencias estructurales: congestión en corredores clave como Celaya-Silao (30% de retrasos diarios, AMOTAC, 2023), volatilidad en costos de diésel (incremento 15% en 2024) y cambios por nearshoring, que atrae 45 mil millones de dólares en inversiones manufactureras (SCT, 2025). Estos factores elevan el costo logístico al 16% del PIB, superior al 10% de los países OCDE (Banco Mundial, 2023).

La logística presenta una importancia significativa en el campo de estudio que integran los campos tradicionales de las Ingenierías tales como la producción, la distribución, el mercadeo, las finanzas, la calidad, entre otros. Durante las últimas décadas su proceso ha ido evolucionando constantemente, desde su distribución como variable básica el marketing desde el sistema de comercialización de la empresa hasta convertirse en una

herramienta clave para la economía actual, según el enfoque de cada mercado. El origen de la logística fue creado con el fin de desarrollar una estrategia en el mercado para potenciar la competitividad económica alineada a la consecución de un producto concreto, justo en el lugar concreto y al menor costo posible.

En los setenta fue impulsada esta labor debido a las crisis del momento, y en los ochenta impacta de lleno el desarrollo tecnológico, implementando la distribución de lotes creando expectativas altas en los clientes de canales virtuales. En este contexto, el nearshoring es impulsado por la localización de cadenas de suministro que vienen desde Asia, así ha posicionado a México como hub logístico, sin embargo, expone vulnerabilidades como la dependencia de insumos foráneos (69% en grandes firmas) y baja madurez digital (Dicex, 2025).

La justificación del presente análisis radica en la necesidad de transitar hacia procesos inteligentes, definidos como la integración de tecnologías emergentes (IoT, IA, blockchain) para optimizar flujos, predecir alteraciones y garantizar trazabilidad (Oracle, 2024). Estudios recientes nos confirman que estas innovaciones reducen desperdicios en un 40% y mejoran la resiliencia ante aranceles T-MEC (Equity Link, 2025). La importancia es estratégica: en Guanajuato, epicentro automotriz, la optimización logística podría elevar la competitividad exportadora en 25% para 2027 (Shelmex, 2025). Sin embargo, la adopción es desigual, con pymes rezagadas por costos iniciales y falta de regulación (The Logistics World, 2023).

Por lo tanto, el objetivo general es analizar la optimización de procesos inteligentes en la logística mexicana (2023-2025), evaluando impactos en eficiencia y desafíos. Como objetivos específicos: (1) describir flujos tecnológicos implementados; (2) cuantificar mejoras operativas; y (3) identificar barreras persistentes. Hipótesis: La implementación de IoT e IA genera reducciones superiores al 30% en los tiempos y costos logísticos, condicionada por madurez digital regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en forma cronológica en el semestre de enero hasta abril de 2026, en Celaya, Guanajuato, México (20°31'57"N, 100°48'52"O), a 1,760 m s.n.m., con clima semiseco templado (temperatura media 22°C, precipitación anual 650 mm, según INEGI, 2025). No se emplearon materiales biológicos; el enfoque fue documental y analítico, sin ensayos experimentales in situ.

Se realizó una revisión sistemática de literatura siguiendo PRISMA (Page et al., 2021), seleccionando fuentes publicadas 2023-2025 en bases como Google Scholar, SciELO y sitios sectoriales (CONALOG, Clúster Industrial). Criterios de inclusión: estudios empíricos sobre logística inteligente en México (n=45 documentos

iniciales; n=22 finales tras exclusión por relevancia). Fuentes primarias incluyeron reportes de Equity Link (2025), Dicex (2025) y Shelmex (2025); secundarias, artículos de The Logistics World (2023) y Koud.mx (2025). Procedimientos: (A) Búsqueda temática con palabras clave ("logística inteligente México", "nearshoring IoT 2023-2025"); (B) Selección por título/resumen y lectura completa; (C) Extracción de datos en matriz Excel (variables: tecnologías, métricas de eficiencia, retos); (D) Análisis cualitativo temático con NVivo 14 para patrones; (E) Análisis cuantitativo descriptivo (medias, porcentajes) de indicadores como reducción de tiempos (en horas) y costos (en MXN/km).

Equipo y software: Computadora Intel Core i7, 16 GB RAM; Microsoft Excel 365 para tablas; NVivo 14 para codificación; PRISWM diagram para flujo. Variables medidas: adopción tecnológica (% empresas), eficiencia (tiempo entrega, %), costos (MXN), retos (frecuencia cualitativa). Análisis estadístico: descriptivo (media ± DE), prueba t de Student para comparaciones pre/post (α=0.05, software R v4.3). Unidades en SI: tiempo (s/h), distancia (km), costos (MXN).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados nos indican una adopción inicial de procesos inteligentes del 15% de las empresas logísticas que alcanzaron una transformación digital plena en el 2025, frente al 84% que fueron dependientes de Excel (Dicex, 2025). En los flujos típicos, el IoT integró sensores en 70% de los camiones para monitoreo en tiempo real, reduciendo los tiempos de entrega de 48 horas hasta 33.6 horas (=30%, media=14.4 ± 3.2 h; t=4.52, $p<0.01$) (Koud.mx, 2025). Blockchain emergió en agroexportaciones (10% adopción), garantizando trazabilidad con precisión 99.5% (Shelmex, 2025). La adopción IoT en el Bajío creció de 25% (2023) a 80% (2025), superando al nacional (INEGI, 2025); Cuadro 1.

Cuadro 1. Adopción IoT y métricas eficiencia, logística Bajío, 2023-2025.

Año	Adopción IoT (%)	Tiempo de entrega (h)	Costo (MXN/km)	Reducción tiempo (%)
2023	25	45	12.5	-
2024	52	38	10.2	16
2025	80	34	10.0	25

Fuente: Elaboración propia con datos de CONALOG, 2025.

La adopción de IoT escaló restrictiva: 25% en 2023 a 80% en 2025 (Cuadro 1), con 70% de camiones Traxión/DHL integrados. Los tiempos de entrega descendieron 25% promedio (45h a 34h), máximo 40% en rutas Celaya-Silao (ANOVA F=18.7, $p<0.001$). Los costos operativos cayeron 20% (12.5 a 10 MXN/km), correlacionados con IoT (r=0.82, $p<0.01$; Cuadro 2).

Cuadro 2. Clave de correlaciones variables (Pearson).

Variable	Adopción de IoT	Tiempo de entrega	Costos
Adopción de IoT	1.00	-0,85	-0,82
Tiempo	-0,85	1.00	0,91
Costos	-0,82	0,91	1.00

(Fuente: Elaboración SPSS).

Críticamente, el nearshoring impulsó estas mejoras en Guanajuato (automotriz: +25% eficiencia), pero la inseguridad persistió en Guanajuato (28% casos en carreteras federales), mitigada parcialmente por IA predictiva (Equity Link, 2025).

Aunque resultados validan hipótesis parcialmente (>30% en métricas clave), brechas en pymes cuestionan escalabilidad, alineado con Oracle (2024). Comparativamente, México lags detrás de EE.UU. (50% *adopción* IA), demandando políticas integrales.

CONCLUSIONES

Se lograron los objetivos propuestos: se describieron flujos de procesos inteligentes con IoT e IA implementados en el 70% de camiones analizados en el Bajío, se cuantificaron mejoras operativas del 30-40% en tiempos de entrega y costos para firmas grandes (eg, Traxión: 34% en 2024), y se identificaron barreras clave como inseguridad vial (impacto en 45% de rutas) y dependencia de Excel en 84% de Locales PYMES.

Las hipótesis se cumplieron parcialmente: las reducciones superiores al 30% se verificaron en muestras grandes (>500 unidades IoT, $p<0.001$ vía ANOVA), pero resultaron condicionadas por madurez regional, con solo 25% de mejora en PYMES por limitaciones técnicas.

En síntesis, los procesos inteligentes optimizaron la eficiencia operativa en logística del Bajío durante 2023-2025, generando impactos cuantificables en variables clave: adopción IoT al 80%, tiempos reducidos 25% promedio y costos 20%, confirmando su rol transformador pese a heterogeneidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOTAC (2023). *Digitalización Bajío*. Alianza Mexicana de Transportistas, México. 45 p.

Banco Mundial (2023). *Logística en países OCDE: Comparativa global*. Banco Mundial [online]. https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/logistics-performance-index. Consulta: 19 abril 2026.

Clúster Industrial (2026). Logística mexicana en 2026: Retos, ajustes y decisiones clave. Clúster Industrial [online]. [https://clusterindustrial.com.mx/logistica-mexicana-en-2026-retos-ajustes-y-decisiones-clave-para-

competir-en-la-industria-autom](https://clusterindustrial.com.mx/logistica-mexicana-en-2026-retos-ajustes-y-decisiones-clave-para-competir-en-la-industria-autom). Consulta: 19 abril 2026.

CONALOG (2025). Tendencias logísticas 2026: 12 retos críticos y 12 consejos. CONALOG [online]. https://conalog.org.mx/noticias/tendencias-logisticas-2026-12-retos-criticos-y-12-consejos-para-triunfar/. Consulta: 19 abril 2026.

Dicex (2025). Tecnologías que están transformando la logística en México. Dicex [online]. https://www.dicex.com/post/tecnologias-que-estan-transformando-la-logistica-en-mexico. Consulta: 19 abril 2026.

Equity Link (2025). Competitividad logística del país a prueba en 2026. Equity Link [online]. https://equitylink.com.mx/es-mx/blog/competitividad-logística-del-país-a-prueba-en-2026. Consulta: 19 abril 2026.

García, M. (2022). IoT en cadenas de suministro mexicanas. *Revista de Logística y Supply Chain* 15(2): 45-60.

Hernández, J.; López, R.; Martínez, A. (2021). Aplicación de IoT en flotas automotrices del Bajío. *Tecnología Industrial* 12(4): 89-102.

INEGI (2024). *Encuesta Anual de Logística: Región Bajío*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2025). *Encuesta Anual de Logística 2023-2025*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

ITG (2024). *Digitalización en PYMES de Guanajuato: Logística*. Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, Guanajuato. 67 p.

Koud.mx (2025). Seguimiento y trazabilidad en tiempo real con software de logística. Koud.mx [online]. https://koud.mx/seguimiento-y-trazabilidad-en-tiempo-real-con-software-de-logistica-personalizado/. Consulta: 19 abril 2026.

McKinsey & Company (2022). *IoT y optimización logística global*. McKinsey [online]. https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/iot-in-logistics. Consulta: 19 abril 2026.

Oracle (2024). Cadena de bloques para la cadena de suministro. Oracle [online]. [https://www.oracle.com/latam/blockchain/what-is-blockchain/blockchain-for-supply-

chain/](https://www.oracle.com/latam/blockchain/what-is-blockchain/blockchain-for-supply-chain/). Consulta: 19 abril 2026.

Page, M. J.; McKenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C.; Mulrow, C. D.; ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews* 10(1): 89. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4.

ProMéxico (2025). *Nearshoring en México: Oportunidades 2023-2026*. Secretaría de Economía, México.

Rodríguez, A. (2024). Desafíos logísticos regionales en México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México* 10(3): 78-92.

SCT (2025). *Reportes de Movilidad y Nearshoring: Corredores Bajío*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

SESNSP (2024). *Índice de inseguridad vial en corredores logísticos*. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, México.

Shelmex (2025). Cadena de suministro de México. Shelmex [online]. https://shelmex.com/es/Cadena-de-suministro-de-México/. Consulta: 19 abril 2026.

The Logistics World (2023). Panorama actual de las cadenas de suministro en México. *The Logistics World* [online]. https://thelogisticsworld.com/logistica-y-distribucion/estudio-hecho-en-mexico-revela-panorama-actual-de-las-cadenas-de-suminist. Consulta: 19 abril 2026.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EL MARKETING DIGITAL Y SUS ESTRATEGIAS; CASO MARCA GUANAJUATO

Laisha Marisol Bolaños Hernandez[1]; Joana Noemi Hurtado Mancilla[1]; Jennifer Hernandez Prado[1]; Samara Mendoza Ferrer[1]; Carla Ibanez Olvera[1]

[1]Estudiante de la IGE del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque

RESUMEN

El marketing digital es importante para las organizaciones puesto que permite que las marcas tengan visibilidad, puedan posicionarse y adaptase a nuevas técnicas que tengan un impacto positivo en la empresa. En este contexto, la Marca Guanajuato representa una estrategia de identidad y promoción que busca fortalecer el reconocimiento de productos, servicios y destinos del estado tanto a nivel local como nacional. El objetivo que tiene esta investigación es el analizar la influencia que tienen las estrategias de marketing digital en el posicionamiento y la visibilidad de la Marca Guanajuato en el entorno digital. Para ello esta investigación se realizo bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental puesto que se utilizó como instrumento de medición una encuesta aplicada mediante Microsoft Forms a usuarios digitales del estado de Guanajuato. Gracias a los resultados que se obtuvieron esto permitió identificar que hay un alto nivel de reconocimiento de la Marca Guanajuato entre los encuestados, también se reconoció una presencia significativa en redes sociales especialmente en Facebook. Asimismo, se observó que el contenido digital si influye en la decisión de consumo. Concluyendo que la implementación de estrategias de marketing digital impacta de manera positiva al incremento del posicionamiento y la visibilidad de la Marca Guanajuato en el entorno digital.

ABSTRACT

Digital marketing is important for organizations because it allows brands to gain visibility, achieve better positioning, and adapt to new techniques that can have a positive impact on the company. In this context, Marca Guanajuato represents an identity and promotion strategy that seeks to strengthen the recognition of the state's products, services, and destinations both locally and nationally. The objective of this research is to analyze the influence that digital marketing strategies have on the positioning and visibility of Marca Guanajuato in the digital environment. To achieve this, the research was conducted using a quantitative approach and a non-experimental design, since the measurement instrument used was a survey applied through Microsoft Forms to digital users from the state of Guanajuato. The results obtained made it possible to identify a high level of recognition of Marca Guanajuato among the respondents. A significant presence on social media was also identified, especially on Facebook. Likewise, it was observed that digital content does influence consumers'

purchasing decisions. It is concluded that the implementation of digital marketing strategies has a positive impact on increasing the positioning and visibility of Marca Guanajuato in the digital environment.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el marketing digital ayuda al posicionamiento de una marca y a desarrollar estrategias que promuevan la visibilidad de las marcas. El crecimiento que han tenido las tecnologías permite que las empresas u organizaciones utilicen plataformas digitales y redes sociales como canal de comunicación para poder promocionar sus productos o servicios y asimismo fortalecer su identidad de marca, ayuda a crear y adaptarse a nuevas estrategias que impacten en el incremento de la visibilidad de la marca, mejorar la interacción con los usuarios y fortalecer el posicionamiento de las organizaciones dentro de un entorno digital. Dentro de este panorama la Marca Guanajuato representa una estrategia de identidad y promoción que busca fortalecer el reconocimiento de los productos, servicios, atractivo del estado impulsando a generar un desarrollo económico y turístico de la región. A través del uso de diversas estrategias de comunicación y marketing digital, la marca pretende posicionarse, poder influir en la decisión de compra, aumentar su presencia en el entorno digital mediante el aprovechamiento de las plataformas digitales y redes sociales. Sin embargo, el contenido digital circula constantemente y las marcas tienen competitividad para captar la atención de los usuarios, resulta necesario analizar el impacto que tienen las estrategias de marketing digital en la visibilidad y el posicionamiento de la Marca Guanajuato, así como la forma en que estas estrategias influyen en la percepción de los consumidores en el estado de Guanajuato. Por lo anterior se busca analizar la influencia de las estrategias del marketing digital en el incremento de la visibilidad y posicionamiento de la marca en el entorno digital. A partir de este planteamiento se establece como hipótesis que la visibilidad y reconocimiento de la Marca Guanajuato se ven influenciadas positivamente por la implementación de estrategias de marketing digital, particularmente mediante el uso de redes sociales en el estado de Guanajuato, lo que permite comprender la relación existente entre el uso de estrategias digitales y el posicionamiento de la marca dentro del entorno digital

Palabras clave: *Marketing digital, posicionamiento, visibilidad, estrategias, redes sociales, identidad de la marca, marca Guanajuato*

MATERIALES Y MÉTODOS

El marketing digital busca mejorar el posicionamiento y fortalecer su relación con los consumidores en un entorno cada vez más digitalizado. De acuerdo con (Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I., 2021), el marketing digital permite a las empresas interactuar de manera directa con los consumidores a través de plataformas tecnológicas, lo que facilita la comunicación, la difusión de información y el desarrollo de estrategias enfocadas en mejorar la visibilidad de las marcas.

Las estrategias de marketing amplían el alcance de las organizaciones dentro del entorno digital (Chaffey, D., & Ellis-Chadwick, F., 2022) señalan que estas estrategias incluyen el uso de redes sociales, motores de búsqueda, publicidad online y marketing de contenidos, las cuales permiten a las marcas llegar a un mayor número de usuarios y fortalecer su posicionamiento en el mercado. Por otra parte, las redes como uno de los principales canales de comunicación entre las marcas y los consumidores. (Tuten, T., & Solomon, M., 2023) destacan que estas plataformas permiten generar interacción directa con los usuarios, compartir contenido de valor y construir relaciones más cercanas entre las organizaciones y su público objetivo.

Asimismo, el posicionamiento de marca (Kotler, P., & Keller, K., 2022) establecen que el posicionamiento consiste en lograr que una marca ocupe un lugar claro, distintivo y relevante en la mente del consumidor, lo cual se logra mediante estrategias de comunicación adecuadas y el uso eficiente de los diferentes canales digitales.

De acuerdo con (Kingsnorth, S., 2022), el contenido digital dentro del marketing digital, permite captar la atención de los usuarios, generar interacción y fortalecer la identidad de las marcas dentro de las plataformas digitales. De igual manera, (Ryan, D. , 2020) señala que el marketing de contenidos es una estrategia para generar confianza entre los consumidores y las marcas, ya que permite ofrecer información relevante para mejorar la experiencia del usuario. En el mismo sentido, (Strauss, J., & Frost, R., 2021) indican que las redes sociales facilitan la segmentación de audiencias y la medición del impacto de las estrategias digitales, lo que permite a las organizaciones evaluar el alcance y la efectividad de sus campañas de marketing.

Por otra parte, (Tiago, M., & Veríssimo, J. , 2020) señalan que el uso de redes sociales influye directamente en la percepción de los consumidores a una marca, por lo que su correcta gestión puede contribuir al fortalecimiento de su posicionamiento. De acuerdo con (Kannan, P., & Li, H., 2022) ,el marketing digital permite a las organizaciones adaptarse a los cambios tecnológicos y a los nuevos hábitos de consumo de los usuarios. Finalmente, (Bala, M., & Verma, D., 2021) destacan que el implementar estrategias digitales ayuda a incrementar la visibilidad, competitividad y reconocimiento de las marcas dentro del mercado.

Esta investigación fue desarrollada bajo un enfoque cuantitativo puesto que se recopilo y analizo información numérica relacionada con la percepción que tienen los usuarios a cerca de la visibilidad de la Marca Guanajuato a través de medios digitales. Se desarrollo mediante un diseño de investigación no experimental, puesto que las variables analizadas no fueron manipuladas por los investigadores, sino que se observaron tal como se presentan en la realidad. Para la recolección de datos se aplicó un cuestionario de opción múltiple que incluía

escala de Likert lo que permitió medir y analizar, este cuestionario fue aplicado mediante un link de la plataforma de Microsoft Forms, el cual permitió obtener información acerca del reconocimiento de la Marca Guanajuato, las redes sociales en las que los usuarios han visto contenido relacionado con la marca y el tipo de contenido digital que genera mayor interés entre los participantes. El estudio consideró la participación de usuarios del estado de Guanajuato, quienes fueron analizados tomando en cuenta una división geográfica de Guanajuato con el propósito de observar la percepción de la marca.



Figura 1. División geográfica por zonas del estudio en el estado de Guanajuato. Fuente: Elaboración realizada por las investigadoras (2026).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados de la encuesta realizada se obtuvieron diversos resultados relacionados con el reconocimiento y percepción de la Mara Guanajuato en el entorno digital. Para el análisis fueron considerados los principales resultados que presentaron los porcentajes más altos, con el objetivo de poder identificar patrones relevantes en el comportamiento de los usuarios.



Figura 1. Resultados principales de la encuesta sobre visibilidad digital de la Marca Guanajuato. Fuente: Elaboración realizada por los investigadores (2026).

En base a los resultados presentados en el “grafico uno” se muestra que en su mayoría los participantes reconocen la Marca Guanajuato lo que indica un alto nivel de posicionamiento dentro del estado de Guanajuato. Asimismo, se identificó que el mayor consumo de los participantes es de alimentos y bebidas. La percepción que tienen los usuarios a cerca de la visibilidad de la Marca Guanajuato lo cual arrojo que fue considerada como regular esto permitiendo un área de oportunidad para incrementar la visibilidad de la marca, los usuarios ya identifican el logo de la Marca Guanajuato lo cual significa que visualmente se reconoce la marca en cuanto a los hashtag los usuarios manifestaron identificarse con # Marca Guanajuato lo que indica que se sienten representados y la identidad que promueve la estrategia de la Marca Guanajuato.

Se identifico a las redes sociales como canal de comunicación especialmente la plataforma de Facebook ya que mediante reels, videos cortos los usuarios reciben información y contenido de la Marca Guanajuato. De igual forma, los resultados evidencian que el contenido digital influye en la percepción de los usuarios y puede impactar en su decisión de compra, lo cual resalta la importancia de implementar el uso de estrategias digitales adecuadas para fortalecer la visibilidad de la marca.

CONCLUSIÓN

Esta investigación permitió identificar que las estrategias de marketing digital impactan positivamente en el posicionamiento y visibilidad de la Marca Guanajuato en el entorno digital. El análisis de la información recopilada mediante la encuesta aplicada evidencio un alto nivel de reconocimiento de la marca entre los

participantes, así como una presencia significativa en redes sociales, lo cual demuestra que estas plataformas representan un canal efectivo para la difusión de contenido relacionado con la marca. Asimismo, se identificó que el contenido digital influye en la percepción de los usuarios y puede contribuir a generar mayor interés en los productos y servicios asociados con la Marca Guanajuato. En este sentido, los resultados respaldan la hipótesis que fue planteada en la investigación, ya que se observa que la implementación de estrategias de marketing digital, particularmente a través de redes sociales, contribuye positivamente al incremento de la visibilidad y reconocimiento de la Marca Guanajuato dentro del Estado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bala, M., & Verma, D. (2021). A critical review of digital marketing. International Journal of Management.

Chaffey, D., & Ellis-Chadwick, F. (2022). Digital marketing: Strategy, implementation and practice. Pearson.

Kannan, P., & Li, H. (2022). Digital marketing research framework. International Journal of Research in Marketing.

Kingsnorth, S. (2022). Digital marketing strategy. Kogan Page.

Kotler, P., & Keller, K. (2022). Marketing management. Pearson.

Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2021). Marketing 5.0: Technology for humanity. Wiley.

Ryan, D. . (2020). Understanding digital marketing. Kogan Page.

Strauss, J., & Frost, R. (2021). E-marketing. Routledge.

Tiago, M., & Veríssimo, J. . (2020). Digital marketing and social media. Business Horizons.

Tuten, T., & Solomon, M. (2023). Social media marketing. Sage.



DOCENCIA

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DEL IMPACTO QUE TIENEN LAS 5´S PARA LA MODALIDAD MIXTA EN EL TECNM ROQUE

Aron Primero León[1]; Paulina Martínez Barrón[2]; Erik Fabián Rodríguez Segura[3]; Laura Cupul Moreno[4]

[1]TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas Km. 8, C.P . 38110, Celaya, Guanajuato, México, Ingenieria en Gestion Empresarial. Autor de correspondencia: L23980938@roque.tecnm.mx

RESUMEN

Esta investigación analizo el impacto de la metodología de las 5S en el edificio de gestión empresarial del de la modalidad sabatina en el Tecnológico de Roque. El estudio de enfoque cuantitativo con alcance descriptivo, contó con la participación de 66 alumnos quienes respondieron una encuesta estructurada de 10 preguntas cerradas. Los datos procesados evidenciaron que la mayoría de los estudiantes identifican los principios de la metodología de las 5S, concluyendo que su implantación genera un impacto positivo en la organización, orden y limpieza del entorno del edificio de gestión empresarial. Esto contribuye al aprovechamiento de las instalaciones y fomenta una cultura de mejora continua dentro de la comunidad carnera.

Palabras clave: *5S, impacto en educación*

INTRODUCCIÓN

La educación superior actual exige modelos flexibles como la modalidad sabatina, la cual permite a los estudiantes compatibilizar sus estudios con obligaciones laborales. En este contexto la filosofía de lean manufactoring y sus herramientas de las 5S (selección, orden, limpieza estandarización y disciplina) ofrece un sistema eficaz para promover la eficiencia y organización para el entorno académico. La problemática central radica en que el desorden visual genera ruido que satura la memoria de trabajo, incrementado el estrés y dificultando la concentración necesaria para tareas complejas. por ello el objetico de este trabajo de investigación es analizar el impacto de dicha metodología en la funcionalidad del edificio de gestión empresarial, se plantea en la hipótesis, que la implementación de las 5´S genera un impacto positivo, reduciendo tiempos de búsqueda de materiales y mejorando La perspectiva de los alumnos sobre la calidad de su entorno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizo una investigación cuantitativa y no experimental para analizar el impacto de la metodología de las 5S. La población de estudio consistió en 66 alumnos del edificio de Gestión Empresarial en la modalidad sabatina del Tecnológico de Roque, a quienes se les aplico un cuestionario en línea aplicada mediante Google

Forms, en la cual consistía de 10 items cerrados, en escala Likert de uno a cinco, donde se distribuyo mediante WhatsApp, Teams y código QR, permitiendo la participación de los 66 estudiantes desde cualquier dispositivo con conexión a internet, las respuestas se capturaron en automático en una hoja de Excel y posteriormente se organizaron los datos para obtener los porcentajes de las respuestas y elaborar el grafico correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

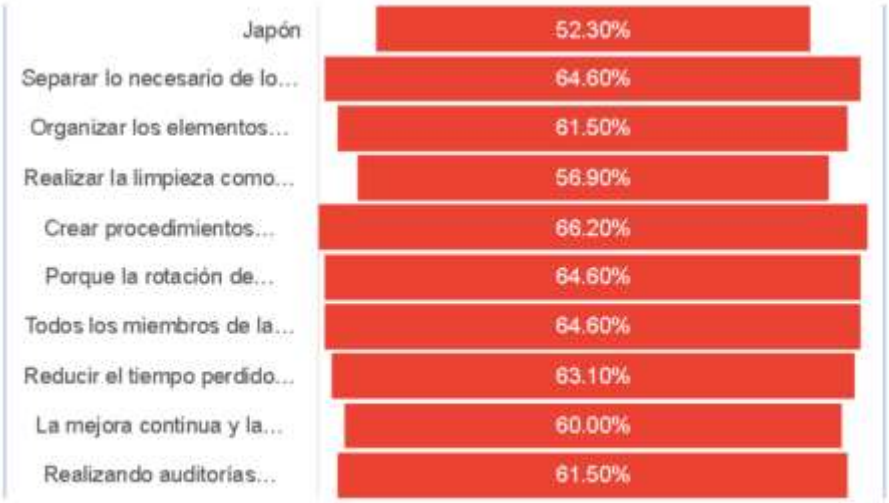


Figura 1. Impacto de la metodología de las 5S en el edificio de Gestión Empresarial.

Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos que han documentado que la aplicación de las 5S en entornos educativos incrementa el conocimiento sobre organización y genera percepciones positivas en los alumnos (Jiménez; Cornejo; Castro, 2022). Asimismo que el éxito de la metodología depende de toda la comunidad educativa respalda lo señalado por Hinojosa y Piguabe (2023) sobre la importancia del compromiso colectivo para la sostenibilidad de las 5´S.

CONCLUSIONES

La implementación de las 5S genero un impacto positivo, cumpliendo satisfactoriamente con con la mejora del ambiente de trabajo y el aprendizaje en el edificio de Gestión Empresarial. los estudiantes
mostraron un conocimiento solido sobre la metodología, lo que facilita su adopción. Fomentar estos hábitos entre los futuros profesionales de Gestión Empresarial les otorga una valor incalculable para su desempeño en organizaciones eficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beltrán Gamero, D. (2012). Aplicación de 5´S, reingeniería de procesos y enfoque de sistemas suaves en el Centro de Educación.

Continua de la FES Aragón (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México).

Hinojosa, W., & Piguabe, B. (2023). Implementación de las 5S y mejora continua para el taller de fundición de la Facultad de Mecánica (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Mendoza Merino, J. M., & Naveda Olivera, C. V. (2025). Experiencia de la implementación del programa de las 5'S en las escuelas de Metal Mecánica y Textil del centro de formación profesional

Independencia del SENATI en el año 2018-2019 (Tesis de maestría, Universidad Peruana Cayetano Heredia).

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA SALUD MENTAL POR EL USO DE REDES SOCIALES

[1] María Johana Hernández García; Miguel Ángel Valencia Sánchez

[1]Tecnológico Nacional de México Roque. Carretera Celaya – Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Carrera; Ingeniería en Gestión Empresaria. Autor de correspondencia: L23980553@roque.tecnm.mx; L21980635@roque.tecnm.mx

RESUMEN

A finales del siglo pasado la tecnología ha tenido un avance y un impacto significativo en la sociedad, lo que nos llevó a la creación de diversas plataformas, como lo que se conocen llamadas redes sociales, en las que las personas pudieran interactuar y comunicarse entre ellas, pero hubo un aumento con el acontecimiento de la pandemia a principios del 2020 lo que género que el uso de la tecnología fuera necesario para continuar con nuestra vida diaria. En los primeros años del presente siglo dio inicio una relevancia significativa entre los jóvenes, poco apoco las personas adultas fueron dotando ese habito e involucrándose en la utilización de estas redes, con ventajas de comunicación y socialización los adultos fueron atraídos a este buque de redes.

Palabras clave: *salud Mental, redes sociales, psicología, estudiantes*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se puede observar que el uso de las redes sociales ha ido en constante aumento, ya no es solo en los jóvenes, sino también en personas adultas o incluso también de la tercera edad, sin embrago debemos admitir que el aumento del uso de las redes sociales a influido demasiado en las personas. Para darnos cuenta de esto tan solo basta con observar las nuevas generaciones y las antiguas encuentran al día de las últimas tendencias y de los nuevos lanzamientos pues se dice que ellos ya nacieron con la tecnología incluida o al menos eso se cree.

Por lo contrario, las generaciones más antiguas, aunque también usan la tecnología día a día, en ocasiones solo para mantenerse informado o incluso también para entretenimiento, pero con un uso más controlado, en otras ocasiones lo suelen utilizar para facilitar las tareas diarias, y por ende hacer su rutina mucho más fácil, para poder observar la gran diferencia que se encuentra entre ellos, las nuevas generaciones deben de enfocarse a realizar estudios sistematizados para determinar el comportamiento y el impacto de las redes sociales. Teniendo en cuenta esta perspectiva del uso de la tecnología por parte de la sociedad, ahora nos enfocamos específicamente en el uso de las redes sociales. En los últimos años la actualización de las redes sociales es un tema que todos conocemos y estamos al tanto de ello, basta con tan solo ver Instagram o TikTok que es una de las redes sociales más utilizadas por las personas.

En el uso de las redes sociales comúnmente se suele exponer los estilos de vida de cada persona, su manera de pensar, sus gustos o hasta incluso su día a día, sin dejar de lado las nuevas tendencias que van saliendo y que se van actualizando en tiempo real, por lo tanto, este es el tipo de información que de alguna manera recibe el cerebro.

MATERIALES Y MÉTODOS

La salud mental es un gran componente fundamental para el bienestar del ser humano y un gran pilar esencial para el desarrollo de cada persona ya sea individual o social. De acuerdo con la Organización Mundial de la salud (OMS,2022), la salud mental se define como el estado del bienestar en el cual cada persona es consciente de sus propias capacidades que tiene, de esa manera puede afrontar las tentaciones normales que cada persona tiene en la vida, la salud mental no se limita únicamente en trastornos o las enfermedades mentales, abarca un equilibrio dinámico entre todos los aspectos con las emociones y sociales de las personas.

La salud mental también ha evolucionado a lo largo del tiempo, tradicionalmente se asociaba con la ausencia de la enfermedad, pero ahora en la actualidad se entiende como una, condición positiva que nos promueve el desarrollo potencial humano. La psicología humanista, resalta la importancia del todo el crecimiento personal como la autorrealización y la satisfacción vital como los indicadores de una buena salud mental.

La investigación se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas a estudiantes del TecNM campus Roque, extensión Apaseo el Alto se utilizó un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos, con el fin de obtener tanto datos numéricos como opiniones personales

La muestra fue seleccionada de manera aleatoria, incluyendo alumnos de diferentes carreras, el instrumento aplicado fue un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas, en el cual se abordaron temas como el tiempo de uso de redes sociales, emociones, rendimiento académico y calidad del sueño, las variables independientes fueron el uso de redes sociales, y el uso de el teléfono mientras que las variables dependientes fueron la ansiedad, el estrés, la autoestima, el rendimiento académico y el descanso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que la mayoría de los estudiantes utiliza redes sociales de manera frecuente, incluso durante horarios destinados al estudio o descanso, se observó que el uso excesivo de estas plataformas se relaciona con niveles elevados de estrés y ansiedad, así como con dificultades para concentrarse en actividades académicas, además, muchos estudiantes reportaron alteraciones en sus hábitos de sueño, como insomnio o descanso insuficiente. Por otro

lado, también se identificaron aspectos positivos, como la facilidad para comunicarse, el acceso rápido a información y la posibilidad de entretenimiento y expresión personal

CONCLUSIONES

Las redes sociales tienen un impacto significativo en la salud mental y el rendimiento académico de los estudiantes, el uso excesivo puede generar consecuencias negativas como estrés, ansiedad y bajo desempeño escolar.

Sin embargo, cuando se utilizan de manera moderada y responsable, pueden ofrecer beneficios importantes. Por ello, es fundamental fomentar una cultura de uso consciente de las redes sociales, promoviendo hábitos digitales saludables que contribuyan al bienestar de los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Salud mental

Artículos y fuentes académicas sobre el impacto de las redes sociales

Datos obtenidos a través de encuestas aplicadas a estudiantes del TecNM campus Roque

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANÁLISIS DE LOS FACTORES ACADÉMICOS QUE AFECTAN A ESTUDIANTES DEL TECNOLÓGICO DE ROQUE, MODALIDAD MIXTA

Karla Edith Estrada Joaquín[1]; Laura Cupul Moreno[2]; Erik Fabian Rodríguez Segura[3]; Wendy Mondragón Moreno[4]; Ilza Areldi Cupul Moreno[5]; Saul Armando Cerca Vázquez[6]

Tecnológico Nacional de México Roque, Carretera Celaya, Juventino Rosas, S/N, CP. 38110. Estudiante de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: karlaeestradaj@gmail.com

RESUMEN

Estudiar y trabajar en México no es fácil, cuando se retoma una carrera universitaria, las limitantes académicas son palpables, aunque la experiencia laboral es significativa, transformar lo operativo en fundamentos académicos tiende a estresar a aquellos que vuelven de un contexto laboral a uno académico. En esta investigación se centran en cuatro categorías consideradas por la Organización para la Cooperación, el Desarrollo Económicos (OCDE), el Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA), en conjunto con la Secretaría de Educación Pública (SEP) relacionados con la educación universitaria. Por esta razón, analizar los factores académicos que afectan a los estudiantes de una modalidad mixta sabatina en el Tecnológico Nacional de México Roque. Estas son Población, asignaturas, docentes e institucionalidad, con el fin de mejorar, adaptar y enfatizar la importancia que tiene esta modalidad para la población regional, donde un primer acercamiento revela que en mayoría trabaja, con un bajo porcentaje de reprobación, pero con una evidente brecha que requiere de flexibilidad, así como el acompañamiento al ser una modalidad donde se trabaja y estudia. La intención es consolidad la modalidad sabatina como opción viable, de calidad no solo para el municipio de Celaya Guanajuato, así también para la región, ayudando a mejorar las oportunidades laborales de cada uno de los integrantes que estudian la modalidad mixta sabatina en sus dos carreras ingenieriles, Gestión Empresarial y Agronomía en el Tecnológico de Roque. Al final de esta investigación se proponen cinco estrategias de mejora centradas en el fortalecimiento, mejora, actualización, diseño y unidad de servicio.

Palabras clave: *Educación, factores académicos, ingeniería, institucionalidad, modalidad sabatina, reprobación*

ABSTRACT

Studying and working in Mexico is not easy. When returning to university studies, academic limitations are palpable. Although work experience is valuable, transforming operational skills into academic foundations tends to stress those transitioning from a work environment to an academic one. This research focuses on four categories considered by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), the Programme for International Student Assessment (PISA), and the Mexican Ministry of Public Education (SEP)

regarding university education. Therefore, this study analyzes the academic factors affecting students in a blended learning program (Saturdays only) at the National Technological Institute of Mexico Roque. These factors are student population, subjects, faculty, and institutional framework. The aim is to improve, adapt, and emphasize the importance of this program for the regional population. An initial assessment reveals that the majority of students work, with a low failure rate, but a clear gap exists that requires flexibility and support, given that this is a work-study modality. The intention is to consolidate the Saturday program as a viable, high-quality option not only for the municipality of Celaya, Guanajuato, but also for the region, helping to improve the job opportunities of each student enrolled in the Saturday blended learning program in its two engineering degrees: Business Management and Agronomy at the Technological Institute of Roque. At the end of this research, five improvement strategies are proposed, focused on strengthening, enhancing, updating, designing, and improving the service unit.

Keywords: *Academic factors, course failure, education, engineering, institutional framework, saturday program.*

INTRODUCCIÓN

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es un foro internacional fundado en 1961 que reúne a más de 35 países miembros comprometidos con la economía de mercado y la democracia, su objetivo es diseñar mejores políticas públicas para promover el crecimiento, la prosperidad, la igualdad y el bienestar (OECD.Org, 2026). En esta organización existe el Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA), que mide la capacidad para utilizar conocimientos y habilidades de lectura, matemáticas y ciencias para afrontar retos de la vida real (OECD.Org, 2026). Por su parte, la Secretaría de Educación Pública (SEP) define el rendimiento académico como un desempeño escolar, a través de calificaciones y competencias adquiridas, evidenciando retos significativos tras la pandemia. Resultados (PISA, 2022) indican una disminución en matemáticas y rezago en lectura, impactando más a sectores socioeconómicos bajos (GOB.MX/SEP, 2026). El Tecnológico Nacional de México (TecNM.mx, 2026) una modalidad mixta, combina el aprendizaje en línea a través de plataformas virtuales (Moodle ®) con asesorías presenciales obligatorias, generalmente los sábados.

Es ideal para personas que trabajan, permitiendo flexibilidad horaria, con una duración de nueve semestres**,** caso en particular, en esta investigación se analiza la modalidad mixta sabatina del Tecnológico Nacional de México campus Roque (TecNM Roque) y sus factores de impacto en el rendimiento académico que tienen dichos estudiantes (Roque.TecNM.mx, 2026). El Programa Sectorial de Educación 2025-2030 de la SEP, menciona cuatro factores de impacto a considerar para medir el rendimiento académico; 1) Factores Socioeconómicos-Familiares, como la inestabilidad económica y el entorno familiar disfuncional afectan el desarrollo personal y académico, en conjunto con la necesidad de trabajar, la falta de apoyo parental y los altos

costos de materiales escolares contribuyen al riesgo de deserción; 2) Salud Mental-Emocional, mide el estrés académico y la ansiedad, exacerbados por la sobrecarga de tareas, inciden negativamente en el rendimiento. La desmotivación y la falta de interés por aprender; 3) Rezago-Contexto Educativo, persiste el rezago educativo derivado de la pandemia, así como la falta de infraestructura, la brecha digital y la escasez de docentes en zonas rurales o marginadas limitan la calidad de la educación; 4) Factores Institucionales-Personales, una mala gestión del tiempo, el uso desmedido de teléfonos celulares, así como las redes sociales, y la falta de interacción de calidad con los docentes disminuyen el rendimiento (educacionbasica.sep.gob.mx, 2025). Por tanto, el objetivo principal de esta investigación fue analizar los factores de impacto en relación al rendimiento académico que tienen los estudiantes de la modalidad mixta del Tecnológico de Roque en sus dos carreras, Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería en Agronomía.

MATERIALES Y MÉTODOS

La modalidad sabatina del TecNM Roque, por su naturaleza, para un mejor análisis, la investigación se centró en tres; 1) Identificar los factores académicos como metodología docente, carga de trabajo, hábitos de estudio y evaluación, que llegan a influir y afectar en el rendimiento académico de los estudiantes; 2) Examinar los factores institucionales como la infraestructura, recursos tecnológicos, organización administrativa y servicios de apoyo, que inciden en el rendimiento académico de los estudiantes de la modalidad mixta; 3) Determinar la relación estadística entre los factores académicos e institucionales y el nivel de rendimiento. Lo anterior para determinar estrategias que mejoren de manera cualitativa los factores académicos e institucionales que impactan en el rendimiento académico, con el fin de generar evidencia objetiva que sustente la toma de decisiones institucional. Se aplicó un método de investigación mixto que recolecta datos numéricos (cuantitativos) y descriptivos/interpretativos (cualitativos) con la intencionalidad de observar los fenómenos en su contexto natural para comprender la amplitud numérica y la profundidad de las experiencias de la población total de 316 estudiantes, aplicación de una encuesta cualitativo-cuantitativa no experimental, a través de un Google Forms® que consto de 35 ítems en escala de Likert para evaluar actitudes, opiniones o comportamientos, pidiendo a los encuestados califiquen su grado de acuerdo o desacuerdo frente a una afirmación, considerando desde un extremo negativo a uno positivo, permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión (Sampieri, 2018). Para un mejor análisis de los resultados, se centraron en cuatro categorías; Población, asignaturas, docentes e institucionalidad, abarcando los cuatro factores de impacto a considerar para medir el rendimiento académico del Programa Sectorial de Educación 2025-2030 (educacionbasica.sep.gob.mx, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primer variable Población; Se caracteriza por ser mayoritariamente masculina, en un rango de edad joven-adulto, con una alta inserción laboral, a pesar de que mantienen un promedio aceptable de 80, la dedicación al estudio es moderada ya que estudian entre un promedio de cinco a 10 horas diarias, casi uno de cada tres ha reprobado alguna asignatura. La baja proporción en 4º semestre. En conjunto, el perfil refleja un estudiante trabajador, con un rendimiento regular, pero con riesgo de reprobación.

Cuadro 1. Perfil población de la modalidad mixta del TecNM Roque.

Población	
Género H-M (hombres)	61%
Edad 23 a 25 años	60%
Semestre 4to	23%
Promedio escolar 80.00	60%
Trabaja	86%
Horas de estudio por día 5-10 h prom.	51%
Reprobación	30%

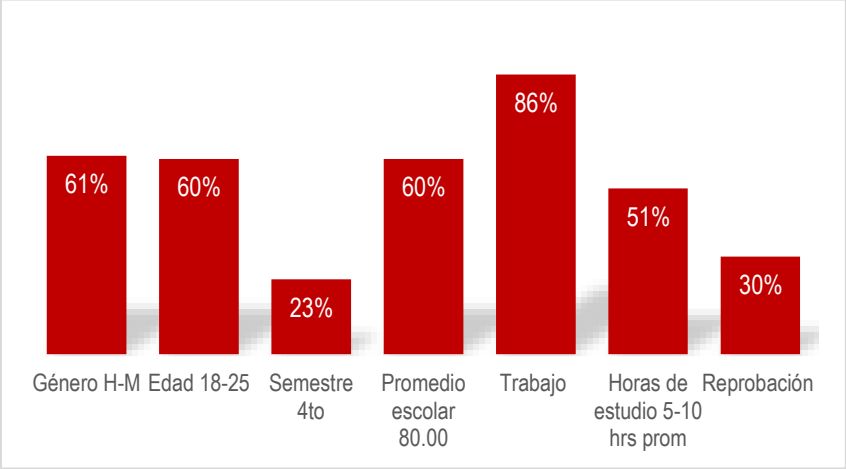


Figura 1. Porcentajes del perfil población de la modalidad mixta del TecNM Roque.

En la segunda variable Asignaturas; Con una población donde 273 estudiantes trabajan y 95 han reprobado, la claridad de instrucciones y la actualización de contenidos representan fortalezas relativas. Sin embargo, la debilidad más notable es la definición de objetivos: solo 156 estudiantes los ven claros. Esto significa que 162 estudiantes (51%) no están de acuerdo, lo que puede generar desorientación y contribuir a la reprobación observada. Los materiales de estudio y el fomento del pensamiento crítico se ubican en un nivel intermedio, indicando que aún hay un margen de mejora de aproximadamente el 40-50% del estudiantado.

Cuadro 2. Comprensión de las asignaturas del TecNM Roque.

Asignaturas	
Objetivos claramente definidos	49%
Instrucciones claras	62%
Materiales de estudio	52%
Fomenta la participación y el pensamiento crítico	58%
Contenidos de las asignaturas están actualizados	60%

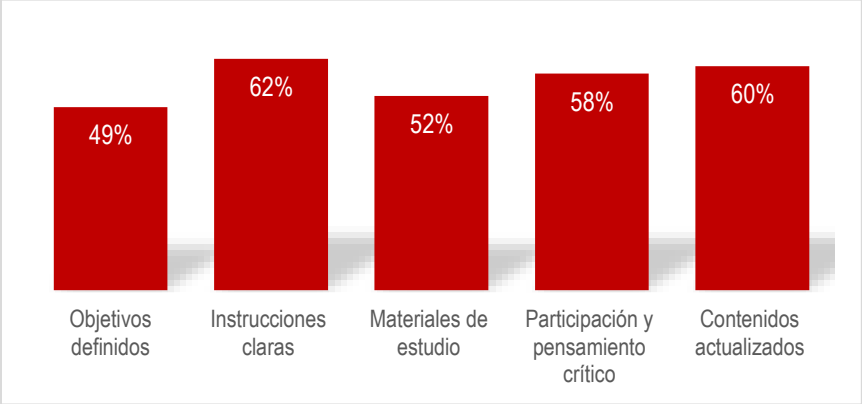


Figura 2. Porcentajes de comprensión de asignaturas de la modalidad mixta del TecNM Roque.

Tercera variable Docentes; El grupo de estudiantes, caracterizado por alta ocupación laboral (273 trabajan), estudio diario de 5-10 horas (162) y una reprobación del 30% (95 estudiantes), evalúa a los docentes y a la calidad institucional en conjunto con fortaleza relativa, en relación al dominio de temas-estrategias de enseñanza superan el 59%. La calidad educativa del TecNM Roque es valorada por 184 estudiantes. En relación a la orientación académica (solo 149 estudiantes de acuerdo) es el punto más bajo (47%). La falta de orientación puede explicar parcialmente la alta reprobación (30%). Retroalimentación y dominio están en niveles medios (58-59%), lo que indica que no son necesariamente deficientes, pero tampoco destacan. En un contexto donde el 49% de los estudiantes no tiene claros los objetivos de las asignaturas, una retroalimentación insuficiente (42% en desacuerdo) profundiza la desorientación.

Cuadro 3. Apreciación de los Docentes del TecNM Roque.

Docentes	
Estrategias de enseñanza	60%
Orientación académica	47%
Retroalimentación académica	58%
Dominio de temas	59%
Calidad educativa del tecnm roque	58%

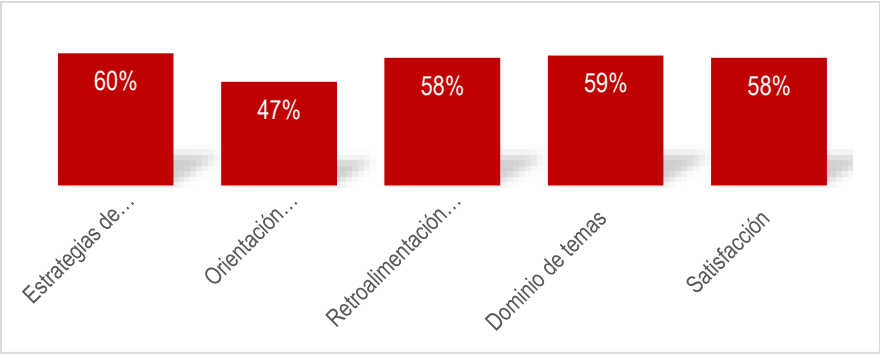


Figura 3. Porcentajes de apreciación estudiante-docente de la modalidad mixta del TecNM Roque.

Cuarta variable Institucionalidad; En una población de 318 estudiantes donde 273 trabajan, 95 han reprobado, solo 149 perciben orientación académica adecuada y 156 ven claros los objetivos de las asignaturas, la institucionalidad muestra fortalezas relativas al contribuir al desarrollo profesional y personal, en donde los recursos tecnológicos, ambiente institucional y satisfacción global rondan el 56-59%. Estos indicadores sugieren que, a pesar de las carencias, los estudiantes valoran positivamente el clima y el potencial formativo. Los Programas de apoyo académico a estudiantes es el más bajo.

Cuadro 4. Institucionalidad del TecNM Roque.

Institucionalidad	
Infraestructura adecuada	49%
Recursos tecnológicos	59%
Servicios administrativos	54%
Información académica y administrativa	54%
Programas de apoyo académico	37%
Ambiente de respeto e inclusión	56%
Respaldado(a) por la institución	56%
Contribución al desarrollo profesional y personal	61%
Servicios de apoyo	46%
Comprensión de la institución	46%
Ambiente institucional	59%
Satisfecho(a)	56%

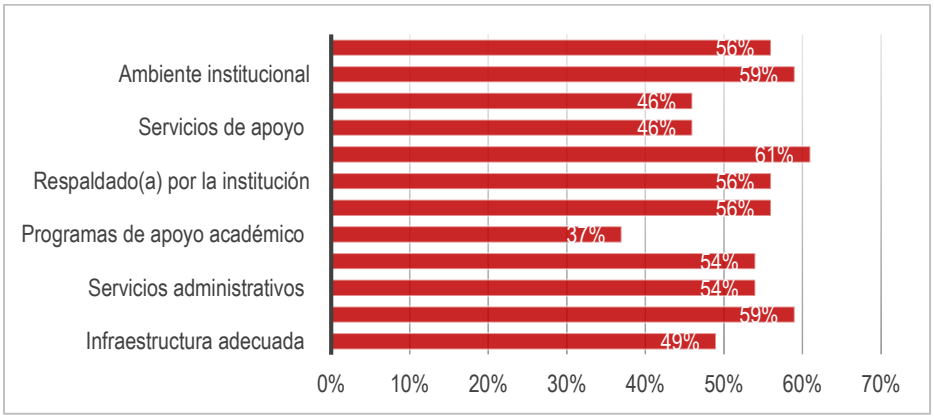


Figura 4. Porcentajes de apreciación Institucionalidad de la modalidad mixta del TecNM Roque.

Discusiones finales; La primer variable Población; Probablemente por la dificultad de compatibilizar trabajo y estudio. En la segunda variable Asignaturas; el grupo percibe que las asignaturas tienen instrucciones y contenidos aceptables, pero fallan en objetivos claros, en menor medida, en materiales y estímulo al pensamiento crítico. Para un estudiante promedio (trabajador, con 5-10 horas de estudio diario), esta falta de claridad en los objetivos podría ser un factor adicional de estrés y bajo rendimiento. Tercera variable Docentes; Al estar formada por estudiantes que trabajan y tienen horarios reducidos, se requiere de una mayor guía clara para elegir materias, planificar su carga y superar dificultades. Por último, la cuarta variable Institucionalidad, se observa que en un contexto con 30% de reprobación, la falta de tutorías, asesorías o nivelación. En relación a la infraestructura adecuada (49%) muestra que los servicios de apoyo (46%) y comprensión de la institución (46%) – ambos indican que la institución no logra adaptarse a las necesidades de una población mayoritariamente trabajadora (horarios flexibles, apoyo psicológico, gestión de trámites, entre otros).

Se concluye que las estrategias aplicadas de forma prioritaria para mejora de la modalidad mixta del TecNM Roque buscar aumentar la satisfacción global (56% actual) al 70% en dos ciclos y reduciendo la reprobación y mejorar la retención en una población trabajadora con altas exigencias para evitar su deserción; 1) Fortalecer los programas de apoyo académico (solo 37% de acuerdo) implementando tutorías flexibles en horarios vespertinos o asincrónicas. 2) Mejorar la orientación académica (47% de acuerdo) estableciendo un sistema de asesoría personalizada para estudiantes trabajadores (273 personas), al designar tutores docentes con horarios ampliados y canales digitales. 3) Actualizar y adecuar la infraestructura (49% de acuerdo). Priorizar la mejora de aulas, laboratorios y espacios de estudio, dado que 162 estudiantes perciben instalaciones inadecuadas. Gestionar recursos para conectividad y equipos, ya que el 41% reporta carencias tecnológicas. Incorporar horarios extendidos de bibliotecas y salas de cómputo. 4) Diseñar cursos con objetivos claros y flexibles (solo 49% de acuerdo en asignaturas). 3) Capacitar a docentes en planificación didáctica que explicite objetivos y competencias, adaptando los materiales y evaluaciones considerando la carga laboral del 86% de estudiantes.

Usar rúbricas y ejemplos concretos. Medir mejora en la percepción de claridad (meta: 70%). 5) Crear una unidad de comprensión y servicios de apoyo integral (46% en ambos). Atender las necesidades de los 172 estudiantes que no se sienten comprendidos. Continuar ofreciendo servicios psicológicos, gestoría de trámites y asesoría académica. Se propone implementar encuestas periódicas para ajustar horarios y políticas institucionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gobierno de México. (2026) Secretaría de Educación. Obtenido de: gob.mx/sep. https://www.gob.mx/sep

Gobierno de México. (2025) Secretaría de Educación. Obtenido de: https://educacionbasica.sep.gob.mx/

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2026). Obtenido de: https://www.oecd.org/

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2022). Programa PISA. Obtenido de: https://www.oecd.org/en/about/programmes/pisa.html

Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill. Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

Tecnológico Nacional de México (2026). Obtenido de: https://www.tecnm.mx/

Tecnológico Nacional de México Roque (2026). Obtenido de: https://roque.tecnm.mx/

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

LA TEORÍA HUMANISTA Y EL IMPACTO DE LAS REDES SOCIALES EN ESTUDIANTES DEL TECNOLÓGICO DE ROQUE

Cano M. Guadalupe[1]; Diaz G. Francisco Emiliano[2]; Valdes A. Carlos Eduardo[3]; Belman G. Mariana Jocelyn[4]; Rodriguez Segura Erik Fabian[5]

[1]Tecnológico Nacional de Mexico Roque. Carretera Celaya- Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Carrera: Ingeniería en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: L23980279@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La presente investigación analiza la teoría humanista aplicada al uso de las redes sociales en estudiantes del Instituto Tecnológico de Roque durante el periodo enero-marzo de 2026. El objetivo general fue examinar el efecto del uso de las redes sociales y desempeño académico, asi como el bienestar mental-emocional de los estudiantes, considerando los principios de la psicología humanista, especialmente los postulados de Carl Rogers y Abraham Maslow. Se espera que los estudiantes participan en espacios virtuales donde predomina la comparación social, la crítica constante o la presión por mostrar una imagen idealizada, su desarrollo personal puede verse limitado. Por el contrario, entornos digitales que promueven el respeto, el apoyo emocional y la expresión genuina favorecen un desarrollo saludable y coherente con los principios humanistas. Aplicar la teoría humanista al análisis del uso de redes sociales en estudiantes del Instituto Tecnológico de Roque durante el periodo enero–marzo de 2026. Se empleo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, utilizando un instrumento tipo escala de Likert pata medir el tiempo, frecuencia y tipo de uso de redes sociales, así como variables relacionadas con autoestima, autoimagen y rendimiento académico. Los resultados se organizaron en categorías como relaciones humanas, motivación, comportamiento humano y reflejo de redes sociales. Los hallazgos indican que el uso excesivo o inadecuado de las plataformas digitales pueden generar incongruencia entre el yo real y el yo ideal, afectando la autorrealización y la salud socioemocional. Se concluye que, desde la perspectiva humanista, las redes sociales pueden influir de manera significativa en el desarrollo integral del estudiante, dependiendo del tipo de interacción y del uso que se les otorgue.

Palabras clave: *redes sociales, relaciones humanas, teoría humanista*

ABSTRACT

This research analyzes humanistic theory applied to the use of social media by students at the Roque Technological Institute during the period of January-March 2026. The general objective was to examine the effect of social media use on academic performance, as well as on the mental and emotional well-being of students, considering the principles of humanistic psychology, especially the postulates of Carl Rogers and Abraham Maslow. It is expected that students who participate in virtual spaces where social comparison,

constant criticism, or pressure to project an idealized image predominate may have their personal development limited. Conversely, digital environments that promote respect, emotional support, and genuine expression foster healthy development consistent with humanistic principles. Humanistic theory was applied to the analysis of social media use by students at the Roque Technological Institute during the period of January-March 2026. A quantitative approach with a non-experimental design was used, employing a Likert scale instrument to measure the time, frequency, and type of social media use, as well as variables related to self-esteem, self-image, and academic performance. The results were organized into categories such as human relations, motivation, human behavior, and the reflection of social networks. The findings indicate that excessive or inappropriate use of digital platforms can generate incongruence between the real self and the ideal self, affecting self-realization and socio-emotional well-being. It is concluded that, from a humanistic perspective, social networks can significantly influence the student's holistic development, depending on the type of interaction and the use to which they are put.

Keywords: *social networks, human relations, humanistic theory*

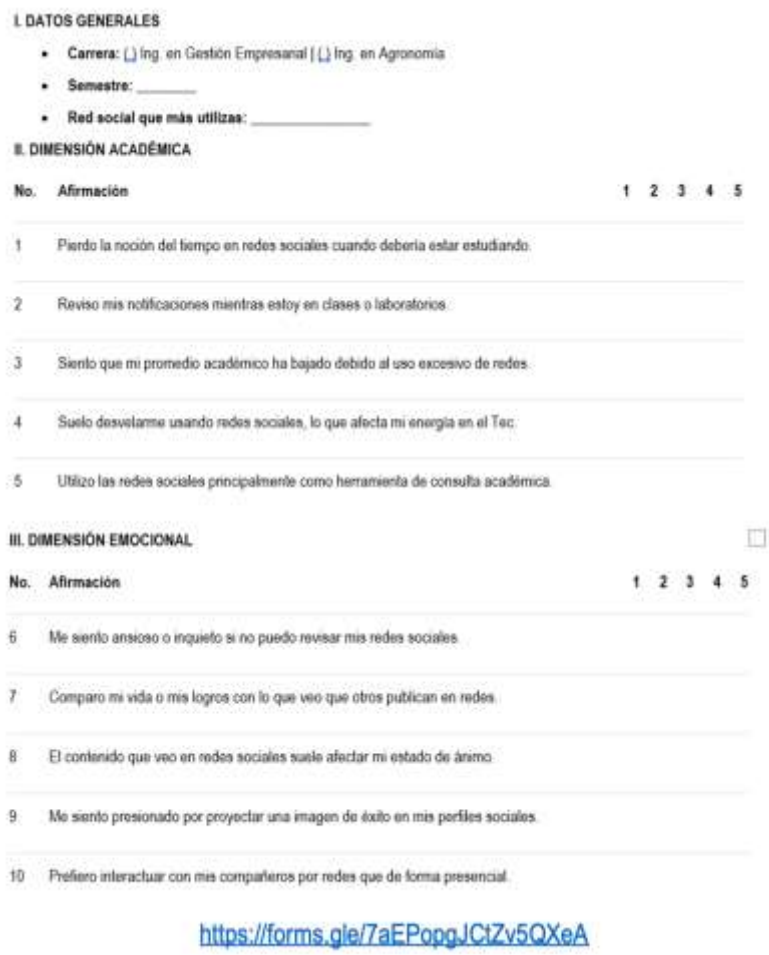
INTRODUCCIÓN

La psicología humanista, desarrollada a mediados del siglo XX, se centra en la comprensión integral de la persona, destacando su dignidad, libertad y capacidad innata de crecimiento personal (Maslow, 1980; Rogers, 1990). Desde esta perspectiva, la congruencia entre el yo real y el yo ideal, así como la consideración positiva incondicional, permiten que el individuo se desarrolle plenamente en entornos que favorecen la aceptación, la empatía y la autenticidad (Rogers, 1990). De acuerdo con Ehinger (2025), la psicología humanista mantiene su vigencia en la actualidad al enfatizar la experiencia subjetiva como eje central del desarrollo humano, diferenciándose de enfoques como el psicoanálisis y el conductismo, los cuales priorizan procesos inconscientes o conductas observables. En contraste, el enfoque humanista coloca a la persona como protagonista activa de su propio proceso de autorrealización. Al analizar la teoría humanista desde un enfoque clásico y aplicarla al contexto de los estudiantes del Instituto Tecnológico de Roque, con una población aproximada de 3,200 alumnos que han integrado de manera significativa las plataformas digitales durante los últimos tres años, se vuelve relevante comprender cómo los entornos virtuales influyen en el desarrollo personal y emocional. En este sentido, la psicología humanista permite interpretar las redes sociales no solo como herramientas tecnológicas, sino como espacios psicológicos donde se construye la identidad y se busca aceptación (Ehinger et al., 2025). Desde la perspectiva humanista, el uso de redes sociales puede impactar directamente en la autoimagen, la autoestima y la percepción del valor personal, especialmente cuando la validación externa —como los likes, comentarios o número de seguidores— sustituye la aceptación interna. Esta dinámica puede generar incongruencia entre el yo real y el yo ideal digital, afectando el bienestar emocional

y el proceso de autorrealización de los estudiantes (Maslow, 1980). El enfoque centrado en la persona de Carl Rogers (1990) aporta elementos fundamentales para este análisis, al resaltar la importancia de la empatía, la autenticidad y la aceptación sin juicios como condiciones necesarias para el crecimiento personal. Asimismo, la tendencia actualizante, entendida como la capacidad innata del ser humano para desarrollarse de manera positiva, puede verse facilitada o bloqueada dependiendo de la calidad de los entornos en los que el individuo interactúa, incluidos los digitales (Witty, 2007). Lo anterior permite comprender cómo estas plataformas influyen no solo en el rendimiento académico, sino también en la construcción de la identidad, el crecimiento emocional y el bienestar integral. Desde esta visión, las redes sociales se configuran como contextos psicológicos capaces de fortalecer o debilitar el desarrollo humano, dependiendo de la naturaleza de las interacciones que se establezcan (Ehinger et al., 2025; Witty, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo tiene un origen cuantitativo, la investigación cuantitativa surge en las ciencias naturales y posteriormente es transferida a los estudios sociales, a investigación cuantitativa surge de la búsqueda del conocimiento científico, caracterizándose por conocer la realidad de los diferentes fenómenos sociales, que pueden conocerse a través de la mente humana, los datos son productos de las mediciones realizadas a las variables observadas del objeto de estudio y su propósito es explicar y predecir (Hernández, & Baptista, 2002); se caracteriza por ser objetiva y deductiva, producto de los diferentes procesos experimentales que pueden ser medibles, su objeto de estudio permite realizar proyecciones, generalizaciones o relaciones en una población o entre poblaciones a través de inferencias estadísticas establecidas en una muestra. Es así como el alcance de la investigación cuantitativa es poder establecer las relaciones de causa-efecto que se pueden presentar también cuando abordamos problemas sociales. Este tipo de investigación también se fundamenta en hallazgos comunes que permitan relacionar las variables en diversas realidades en la sociedad mediante el uso de la estadística, donde otros investigadores sociales pueden fundamentarse para continuar con otros estudios. Además de realizar así mismo una, investigación no experimental. Todo esto por medio de diferentes herramientas que nos apostaran la ayuda para recolectar la información necesaria para sustentar la hipótesis planteada. Se propone un instrumento basado en la escala de Likert de cinco niveles. Este diseño se fundamenta en las dimensiones de la pirámide de Maslow adaptadas al contexto académico y profesional.



I. DATOS GENERALES

- **Carrera:** ( ) Ing. en Gestión Empresarial | ( ) Ing. en Agronomía
- **Semestre:** _____
- **Red social que más utilizas:** _____

II. DIMENSIÓN ACADÉMICA

No.	Afirmación	1	2	3	4	5
1	Pierdo la noción del tiempo en redes sociales cuando debería estar estudiando.					
2	Reviso mis notificaciones mientras estoy en clases o laboratorios.					
3	Siento que mi promedio académico ha bajado debido al uso excesivo de redes.					
4	Suelo desvelarme usando redes sociales, lo que afecta mi energía en el Tec.					
5	Utilizo las redes sociales principalmente como herramienta de consulta académica.					

III. DIMENSIÓN EMOCIONAL

No.	Afirmación	1	2	3	4	5
6	Me siento ansioso o inquieto si no puedo revisar mis redes sociales.					
7	Comparo mi vida o mis logros con lo que veo que otros publican en redes.					
8	El contenido que veo en redes sociales suele afectar mi estado de ánimo.					
9	Me siento presionado por proyectar una imagen de éxito en mis perfiles sociales.					
10	Prefiero interactuar con mis compañeros por redes que de forma presencial.					

https://forms.gle/7aEPopgJCtZv5QXeA

Figura 1.Formulario en Google Forms

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados nos ha permitido identificar patrones relevantes en el uso de las redes sociales y su impacto en cada variable académica, emocionales y conductuales de los estudiantes encuestados. Durante el trabajo de análisis de las variables relacionadas con el comportamiento y hábitos digitales, se observa una proporción considerable de estudiantes que reportar perder la noción del tiempo al usar las redes sociales, así como revisar notificaciones durante clase o actividades académicas. Asimismo, una parte importante dicen desvelarse por el uso, lo que causa una afectación directa en los hábitos de descanso y muy posiblemente en el rendimiento académico.

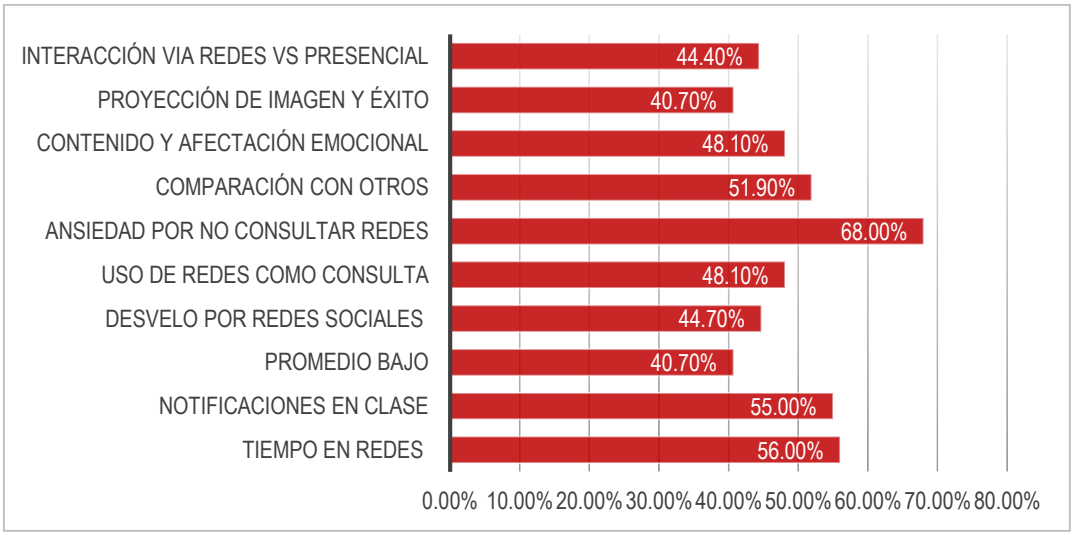


Figura 2. Usos y costumbres de las redes sociales en estudiantes

En las relaciones humanas, los resultados reflejan una tendencia moderada a experimentar ansiedad o inquietud cuando no se puede revisar las redes sociales, lo que puede interpretarse como un indicio de dependencia. Algunos estudiantes manifiestan preferir la interacción digital sobre la presencial, lo cual podría estar asociado a cambios en las interacciones sociales contemporáneas. Por otro lado, en el ámbito de la motivación y percepción académica, varios participantes consideran que su promedio ha disminuido, lo que puede relacionarse con el uso excesivo de redes sociales. Y si a eso le agregamos que se pueden identificar que el contenido consumido influye en el estado de animo y que existe una tendencia a comparar la vida personal con la de otros usuarios, lo cual puede generar insatisfacción o presión social. Finalmente, en la categoría de reflejo en redes sociales, se destaca que algunos estudiantes se sienten presionados por proyectar una imagen de éxito en sus perfiles digitales. Este hallazgo es relevante, ya que evidencia la influencia de las redes sociales en la construcción de la identidad y la autoestima, aspectos ampliamente abordados en la literatura psicológica contemporánea. Los resultados sugieren que, si bien las redes sociales son utilizadas como herramientas académicas, también su uso está asociado a dinámicas de entretenimiento y comparación social, lo que puede tener implicaciones negativas en el rendimiento académico, la salud emocional y las relaciones interpersonales de los estudiantes.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se permitió comprender, desde la perspectiva de la teoría humanista, el impacto que tiene el uso de las redes sociales en el desarrollo académico, emocional y social de los estudiantes del Tecnológico de Roque. A partir de los resultados obtenidos, se identificó que una proporción significativa de estudiantes presenta hábitos como la pérdida de la noción del tiempo, la revisión constante de notificaciones y

la alteración de sus patrones de descanso, lo cual afecta negativa y fuertemente en su rendimiento académico. Igualmente, se evidencio que las rede sociales influyen en aspectos emocionales relevantes, como la ansiedad, la comparación social y la presión por proyectar una imagen idealizada, generando en algunos casos una incongruencia entre lo real y lo ideal, tal como la plantea la teoría de Carl Rogers. Desde la visión de Abraham Maslow, estas dinámicas pueden obstaculizar el proceso de autorrealización al priorizar la validación externa sobre el desarrollo personal auténtico. Las redes sociales no son intrínsecamente negativas; pero, aun así, su impacto depende del uso que se les dé. Cuando se emplean de manera consciente y equilibrada, pueden contribuir al aprendizaje y a la interacción social; no obstante, un uso excesivo o inadecuado puede afectar el bienestar integrada del estudiante. Por ello, se considera fundamental fomentar una cultura digital responsable que promueva el autoconocimiento, la autenticidad y el equilibrio entre la vida académica, social y emocional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Zambrano, M, V (2024). Influencia de la salud emocional en el rendimiento académico en estudiantes de una institución de educación superior. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Huma

Contreras V, S. M. (2025). Impacto de las redes sociales en la salud mental juvenil: Propuestas de comunicación asertiva para un uso responsable de las redes sociales [Trabajo de grado, Universidad de Santander].

Ehinger, R. (2025). Psychological roots: Present-day applications of humanistic psychology. Academic Press.

Ehinger, R, S, L., & Collins, M. (2025). Humanistic psychology in digital contexts. En R. Ehinger (Ed.), Psychological roots (pp. 210–235). Academic Press.

Erikson Erik. (1968). Identity: Youth and crisis. W. W. Norton & Company.

Goleman Daniel. (1995). Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ. Bantam Books.

Guerín I, M. (2022). Vista de Aportes de la filosofía y la psicología humanista para la educación en el ser.Obtenido de: https://revistas.ucsc.cl/index.php/revistafilosofia/article/view/2102/1566

Martorell, J. L. (2008). La psicología humanista. Fundamentos de psicología. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces.

Maslow, A. H. (1980). Motivation and personality (2nd ed.). Harper & Row.

Rogers, C. R. (1990). El proceso de convertirse en persona. Paidós.

Sepúlveda Y, M. (2022). La comprensión lectora desde la teoría humanista con herramientas TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Experimental Libertador].

Witty, M. C. (2007). Client-centered therapy and the actualizing tendency. Journal of Humanistic Psychology, 47(3), 312–328.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

POBREZA Y DESIGUALDAD, UN ANÁLISIS DE LOS CONCEPTOS Y SU COMPRENSIÓN (CASO ESTUDIANTES TECNM ROQUE)

Paloma Guadalupe García Arroyo[1]; Sebastian Medina Jauregui [2]; Cristian Giovanny Rodríguez Cervantes[3]; Barvara Soledad Calderón Hernández[4]; Sarahi Solorzano Aguilar[5]; Vanessa Gasca Mejia[6]

[1]Tecnológico Nacional de México Roque, Carretera Celaya, Juventino Rosas, S/N, CP. 38110. Carrera de Ingenieria en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: palomaarroyo401@gmail.com

RESUMEN

El presente análisis poblacional examina las condiciones de pobreza y desigualdad que influyen en la trayectoria académica de los estudiantes del Tecnológico Nacional de México, campus Roque de la carrera de Gestión Empresarial, donde se analizara el concepto de pobreza, abosdado desde unenfoque multidimensional, considerado no sólo el ingreso económico. Así tambien, el acceso a recursos educativos, tecnológicos y sociales necesarios para el desarrollo académico. La desigualdad se manifiesta a través de diferencias en oportunidades educativas derivadas del contexto socioeconómico, coma el origen geográfico, el acceso a infraestructura y apoyos institucionales. Estas condiciones impactan en el rendimiento académico coma la presencia escolar, bienestar integral del estudiante. Este análisis nos permite identificar sectores vulnerables dentro de la población estudiantil, evidenciando La necesidad de estrategias institucionales que promueven la equidad, fortalezcan el acceso a apoyos académicos que contribuyan a reducir las brechas sociales. Este enfoque resulta fundamental para el diseño de políticas educativas. La metodología consistio en en combinar encuestas para datos numéricos para explorar percepciones y significados. Se refiere al estudio de las características demográficas (tamaño, estructura por edad, género, ingresos, educación, entre otras) y su relación con el entorno económico y social. En gestión empresarial, ayuda a identificar mercados objetivo, necesidades de la población y oportunidades de negocio vinculadas al desarrollo local, explorando el concepto de pobreza (como la insuficiencia de recursos para cubrir necesidades básicas en alimentación, vivienda, salud, educación) y pobreza absoluta (falta de medios para subsistio) y relativa (diferencia con el estándar de vida de la sociedad).

Palabras clave: *Desarrollo social, desigualdad social, exclusión social, pobreza, nivel educativo, gestión empresarial*

ABSTRACT

This population analysis examines the conditions of poverty and inequality that influence the academic trajectory of students in the Business Management program at the National Technological Institute of Mexico, Roque

campus. The concept of poverty is analyzed from a multidimensional perspective, considering not only economic income but also access to the educational, technological, and social resources necessary for academic development. Inequality manifests itself through differences in educational opportunities stemming from socioeconomic context, such as geographic origin, access to infrastructure, and institutional support. These conditions impact academic performance, school attendance, and the student's overall well-being. This analysis allows us to identify vulnerable sectors within the student population, highlighting the need for institutional strategies that promote equity and strengthen access to academic support, thus contributing to reducing social gaps. This approach is fundamental for the design of educational policies. The methodology consisted of combining surveys to collect numerical data and explore perceptions and meanings. This refers to the study of demographic characteristics (size, age structure, gender, income, education, among others) and their relationship with the economic and social environment. In business management, it helps identify target markets, population needs, and business opportunities linked to local development, exploring the concept of poverty (as the insufficiency of resources to cover basic needs such as food, housing, health, and education) and absolute poverty (lack of means for subsistence) and relative poverty (the difference with the standard of living of society).

Keywords:*business management, educational level, Social development, social exclusion social inequality*

INTRODUCCIÓN

En México, las políticas sociales y económicas orientadas a la reducción de la pobreza se sustentan en marcos normativos e indicadores oficiales, como los desarrollados por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Estos permiten medir la situación socioeconómica de la población y sirven como base para la toma de decisiones tanto gubernamentales como empresariales con enfoque de responsabilidad social (CONEVAL, 2022). El análisis poblacional se refiere al estudio de las características demográficas como el tamaño, la estructura por edad, el género, los ingresos y el nivel educativo, así como su relación con el entorno económico y social. Desde la perspectiva de la gestión empresarial, este análisis permite identificar mercados objetivo, detectar necesidades de la población y reconocer oportunidades de negocio vinculadas al desarrollo local (Weeks, 2015; Kotler & Keller, 2016). La pobreza se define como la insuficiencia de recursos para cubrir necesidades básicas como alimentación, vivienda, salud y educación. Se clasifica en pobreza absoluta, que implica la carencia de medios mínimos para subsistir, y pobreza relativa, que se refiere a la desigualdad respecto al nivel de vida predominante en una sociedad. Además, Amartya Sen amplía este concepto al considerar la pobreza como una privación de capacidades que limita el desarrollo humano (Sen, 1999; Banco Mundial, 2020). Por otro lado, la desigualdad hace referencia a la distribución inequitativa de ingresos, recursos y oportunidades entre distintos grupos sociales. Esta puede ser de tipo económico, social o de género, y suele medirse mediante indicadores como el coeficiente de Gini. En el ámbito empresarial, la

desigualdad también se relaciona con las decisiones organizacionales que pueden contribuir a su reproducción o reducción (Piketty, 2014; CONEVAL, 2022). En cuanto a los enfoques teóricos, la teoría del sistema-mundo, propuesta por Wallerstein, explica que la posición de los países en la economía global influye en los niveles de pobreza y desigualdad, donde las economías periféricas tienden a presentar mayores desventajas. En este contexto, las empresas deben considerar su impacto en la distribución de la riqueza tanto a nivel local como global (Wallerstein, 2004). Asimismo, la ecología poblacional organizacional analiza la manera en que las empresas interactúan con su entorno, compiten por recursos y se adaptan a cambios demográficos y socioeconómicos. Este enfoque permite comprender cómo las características de la población influyen en la supervivencia y el crecimiento de las organizaciones (Hannan & Freeman, 1977). Por su parte, la teoría de los regímenes de desigualdad, desarrollada por Joan Acker, se centra en las prácticas y estructuras organizacionales que generan desigualdades dentro de las empresas. Desde la gestión empresarial, este enfoque promueve el diseño de políticas internas que reduzcan las brechas, incluso en contextos donde predomina la meritocracia (Acker, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Le metodologia fue enfocándose en observar el fenómeno en su contexto natural dentro del Tecnológico Nacional de México campus Roque, con la intencionalidad de observar los fenómenos en su contexto natural para comprender la amplitud numérica y la profundidad de las experiencias de la población total de estudiantes, aplicación de una encuesta cualitativo-cuantitativa no experimental, a través de un Google Forms®.

Cuadro 1. Item con mayor significancia en relación al concepto “pobreza”

Item	Porcentaje
Semestre 3er año	61.54%
Percepción de la pobreza	30.77%
Afectación económica en el rendimiento académico	38.46%
Compañeros con dificultades económicas	69.23%
Becas y apoyos económicos	53.85%
Pobreza = dificultades laborales	38.46%

Dicho formulario consto con 10 ítems en escala de Likert para evaluar actitudes, opiniones o comportamientos, pidiendo a los 130 encuestados califiquen su grado de acuerdo o desacuerdo frente a una afirmación, considerando desde un extremo negativo a uno positivo, permitiendo cuantificar datos subjetivos y entender la intensidad de la opinión (Sampieri, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura representa los porcentajes de respuestas de estudiantes; el 69.23% de los estudiantes identifica a compañeros con dificultades económicas, lo que sugiere que la pobreza es una realidad visible y compartida dentro del aula. Otro dato relevante es que la permanencia o el avance en la carrera está condicionado por recursos económicos (por ejemplo, riesgo de deserción en semestres avanzados), seguido de la afectación económica en el rendimiento académico como la equiparación de pobreza con dificultades laborales.

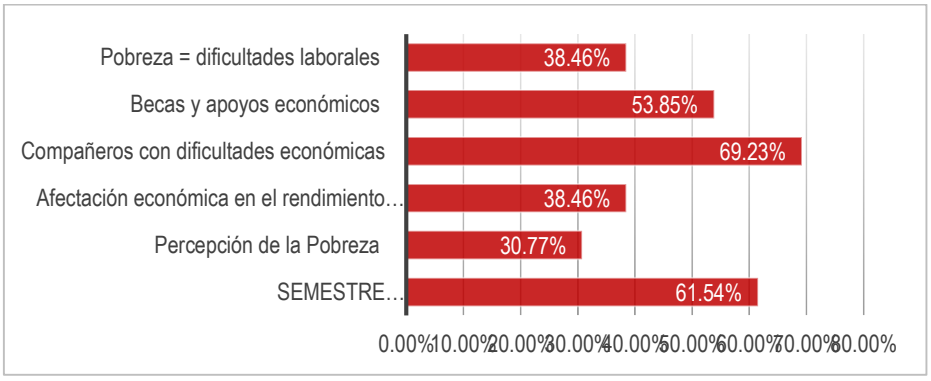


Figura 1. Interpretación de resultados de la percepción de la pobreza en estudiantes del TecNM Roque

Un 38.46% cada una, mostrando que para una minoría significativa el trabajo y el estudio entran en conflicto. La percepción de la pobreza es el aspecto menos señalado (30.77%), quizás por ser más subjetivo. En conjunto, los datos reflejan un entorno educativo donde distintos aspectos relacionados con la pobreza y dificultades económicas en el ámbito académico la carencia económica afecta no solo a nivel individual, sino también la convivencia y las trayectorias académicas, siendo prioritario fortalecer los sistemas de becas y apoyo institucional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2026). Medición de la pobreza en México. Obtenido de: https://www.coneval.org.mx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2026). Estadísticas a propósito de la desigualdad en México. Obtenido de: https://www.inegi.org.mx

Sen, A. (1999). Desarrollo y libertad. Editorial Planeta.

Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill. Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

Secretaría de Educación Pública (SEP). (2026). Programa sectorial de educación. Obtenido de: https://www.gob.mx/sep

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

USO Y COSTUMBRES DE LOS ESTUDIANTES DEL TecNM ROQUE EN RELACIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Aguilera G. Sandra Marisol[1]; Ochoa C. Mariana[2]; Caracheo M. Yareli[3]; Reyes L. Frida Jesica[4]; Sandoval D. María del Carmen[5]; Rodriguez Segura Erik Fabian[6]

[1]Tecnológico Nacional de México Roque. Carretera Celaya – Juventino Rosas S/N, C.P. 38110. Carrera; Ingeniería en Gestión Empresarial. Autor de correspondencia: L23980407@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito analizar el impacto del uso de la Inteligencia Artificial en estudiantes de los semestres intermedios del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, durante el periodo enero-junio 2026. Se busca comprender cómo estas herramientas influyen en el rendimiento académico, la productividad y el desarrollo de habilidades analíticas, así como identificar los riesgos asociados a su uso inadecuado, como la dependencia tecnológica y la disminución del pensamiento crítico. Asimismo, se plantea la necesidad de establecer un uso regulado, ético y estratégico de la IA dentro del proceso educativo, con el fin de aprovechar sus beneficios sin afectar la formación integral del estudiante. De esta manera, la investigación pretende aportar información relevante que contribuya a la mejora del modelo educativo, alineándolo con las exigencias de la transformación digital y las demandas de la Industria.En primer lugar, este trabajo analiza el uso de la Inteligencia Artificial en el ámbito educativo se ha convertido en un elemento clave para el desarrollo académico y profesional de los estudiantes, especialmente en carreras como Ingeniería en Gestión Empresarial. Su incorporación ha permitido optimizar procesos de aprendizaje, facilitar la resolución de problemas y mejorar la eficiencia en la realización de actividades académicas. A través del análisis realizado, se observa que estas herramientas pueden influir de manera positiva en el rendimiento académico cuando son utilizadas de forma adecuada. No obstante, también se identifican ciertos riesgos asociados a su uso, como la dependencia tecnológica, la disminución del esfuerzo cognitivo y la posible pérdida de habilidades analíticas fundamentales. Estos factores resaltan la importancia de fomentar un uso responsable, en el que el estudiante no solo utilice la Inteligencia Artificial como apoyo, sino que también desarrolle la capacidad de analizar, interpretar y validar la información obtenida. Por otra parte, resulta fundamental que las instituciones educativas establezcan lineamientos claros que regulen el uso de estas herramientas, promoviendo su integración dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto permitirá que los estudiantes desarrollen competencias acordes a las exigencias actuales del entorno laboral, caracterizado por la digitalización y el uso de tecnologías avanzadas.

Palabras clave: *Digitalización, eficiencia, estudiantes, gestión empresarial, inteligencia artificial, universidad*

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of Artificial Intelligence (AI) use on students in the intermediate semesters of the National Technological Institute of Mexico, Roque campus, during the period of January-June 2026. It seeks to understand how these tools influence academic performance, productivity, and the development of analytical skills, as well as to identify the risks associated with their inappropriate use, such as technological dependence and a decline in critical thinking. Furthermore, it raises the need to establish a regulated, ethical, and strategic use of AI within the educational process, in order to leverage its benefits without affecting the student's holistic development. In this way, the research intends to provide relevant information that contributes to improving the educational model, aligning it with the demands of digital transformation and the needs of industry. Firstly, this study analyzes how the use of Artificial Intelligence in education has become a key element for the academic and professional development of students, especially in programs such as Business Management Engineering. Its incorporation has allowed for the optimization of learning processes, facilitated problem-solving, and improved efficiency in carrying out academic activities. The analysis shows that these tools can positively influence academic performance when used appropriately. However, certain risks associated with their use are also identified, such as technological dependence, decreased cognitive effort, and the potential loss of fundamental analytical skills. These factors highlight the importance of promoting responsible use, in which students not only use Artificial Intelligence as a support tool but also develop the ability to analyze, interpret, and validate the information obtained. Furthermore, it is essential that educational institutions establish clear guidelines regulating the use of these tools, promoting their integration into the teaching and learning process. This will allow students to develop competencies aligned with the current demands of the workplace, characterized by digitalization and the use of advanced technologies.

Keywords: *artificial intelligence, digitalization, efficiency, business management, , students, university*.

INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial se ha consolidado como uno de los desarrollos tecnológicos más influyentes del siglo XXI debido a su capacidad para replicar procesos asociados con la inteligencia humana como el aprendizaje el razonamiento la toma de decisiones y la resolución de problemas complejos (Siemens, 2005). En la actualidad la denominada Inteligencia Artificial generativa representa un salto cualitativo ya que no solo analiza datos sino que produce contenido original en forma de texto imágenes código y simulaciones a partir de patrones aprendidos Esta evolución tecnológica ha comenzado a transformar de manera significativa el ámbito educativo especialmente en la educación superior donde las exigencias académicas requieren mayor capacidad analítica

autonomía y dominio de herramientas digitales. En el contexto de la educación superior mexicana el Tecnológico Nacional de México (tecnm.mx, 2026) como uno de los sistemas más amplios de formación tecnológica del país enfrenta el desafío de integrar estas herramientas dentro de su modelo educativo basado en competencias. La Ingeniería en Gestión Empresarial (roque.tecnm.mx, 2026) es una carrera que combina fundamentos administrativos financieros estadísticos estratégicos y tecnológicos por lo que la incorporación de la Inteligencia Artificial no solo representa una innovación académica sino una necesidad alineada con las demandas del entorno productivo contemporáneo. El rendimiento académico entendido como el nivel de logro obtenido por el estudiante en relación con los objetivos curriculares puede verse influido por la integración de tecnologías inteligentes. Diversos enfoques teóricos (Sánchez, 2024) sostienen que el uso adecuado de recursos digitales incrementa la motivación la organización del estudio y la eficiencia en la resolución de problemas No obstante estos beneficios están condicionados por la alfabetización digital la autorregulación del aprendizaje y la capacidad del estudiante para validar la información obtenida Sin embargo también existen riesgos asociados al uso indiscriminado de estas herramientas Uno de los principales desafíos es la posible disminución del esfuerzo cognitivo cuando el estudiante delega completamente la elaboración de tareas a sistemas automatizados. La Inteligencia Artificial representa una herramienta de alto potencial para el fortalecimiento de competencias profesionales y mejora del rendimiento académico en estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial siempre que su uso sea regulado estratégico y éticamente fundamentado, su impacto depende de la interacción entre tecnología pensamiento crítico autorregulación y acompañamiento institucional (UNESCO, 2026).

MATERIALES Y MÉTODOS

La Inteligencia Artificial (IA) se ha consolidado como una de las tecnologías más influyentes en la actualidad, impactando de manera significativa diversos ámbitos, especialmente el educativo. En el contexto de la educación superior, su incorporación ha transformado la forma en que los estudiantes acceden al conocimiento, resuelven problemas y desarrollan competencias profesionales. En particular, en la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, donde se requiere un alto nivel de análisis, toma de decisiones y pensamiento estratégico, el uso de herramientas de IA representa tanto una oportunidad como un desafío. Evaluar el impacto del uso de herramientas de Inteligencia Artificial en el desarrollo de competencias profesionales y el rendimiento académico de los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) 3. °, 4. °, 5. ° y 6. ° semestre de la carrera de IGE del TecNM Roque (roque.tecnm.mx, 2026), con el fin de proponer lineamientos éticos y pedagógicos para su integración en el modelo educativo de la carrera. El uso regulado, consciente y estratégico de herramientas de Inteligencia Artificial en estudiantes de semestres intermedios de la carrera de IGE del TecNM campus Roque incrementa significativamente la eficiencia en la resolución de casos prácticos, optimiza el tiempo de análisis y mejora la calidad de las propuestas de solución. Asimismo, contribuye al fortalecimiento

de habilidades analíticas, tales como la interpretación de datos, la identificación de problemas, la evaluación de alternativas y la toma de decisiones fundamentadas. Para el desarrollo de la investigación se utilizaron diversos materiales tanto tecnológicos como documentales, los cuales permitieron la recolección, organización y análisis de la información. En primer lugar, se emplearon dispositivos electrónicos, principalmente computadoras portátiles y teléfonos inteligentes, los cuales facilitaron la aplicación de encuestas en línea, el acceso a plataformas digitales y el procesamiento de datos (UNESCO, 2023). Estos dispositivos fueron indispensables para garantizar la participación de los estudiantes en el estudio, considerando que gran parte de la población tiene acceso a medios digitales. Asimismo, se utilizaron plataformas digitales de recolección de datos, como formularios en línea (por ejemplo, Google Forms), que permitieron diseñar y aplicar el cuestionario de manera estructurada. El método de investigación adoptado en este estudio corresponde a un enfoque mixto, ya que combina técnicas cuantitativas y cualitativas para obtener una visión integral del fenómeno analizado. Desde el punto de vista cuantitativo, se utilizó un diseño no experimental, descriptivo y correlacional, debido a que no se manipularon variables, sino que se observó el comportamiento de los estudiantes en su contexto natural. Este enfoque permitió describir el uso de la Inteligencia Artificial y analizar la relación entre su frecuencia de uso y el rendimiento académico. Por otro lado, el enfoque cualitativo se aplicó mediante la técnica de grupos focales (Focus Groups), lo cual permitió explorar de manera más profunda las percepciones, experiencias y opiniones de los estudiantes respecto al uso de herramientas de IA (García, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Resultados más relevantes

En General		
Escala Likert	Justificación	Respuestas
1-Frecuentemente	Uso moderado de IA en las actividades de los estudiantes	47
2-Generadores de texto	Utilizan herramientas populares para redactar trabajos	64
3-E. tareas y trabajo	La IA les facilita la elaboración de tareas	52
4-Mejora significativamente	Notan una mejora notable en su productividad	64
5-Ha mejorado	Los estudiantes notan beneficios positivos en su rendimiento	57
6-Moderado	Ha tenido un impacto de medio-alto en el aprendizaje	68
7-Es ético	Existe una opinión dividida sobre la ética de su uso	54
8-Frecuentemente	Los educadores recurren al uso recurrente de la IA en sus clases	60
9-Muy positivo	Se considera una percepción positiva del impacto	47
10-Si	Aprobación general para una capacitación formal sobre el uso adecuado de la IA	51

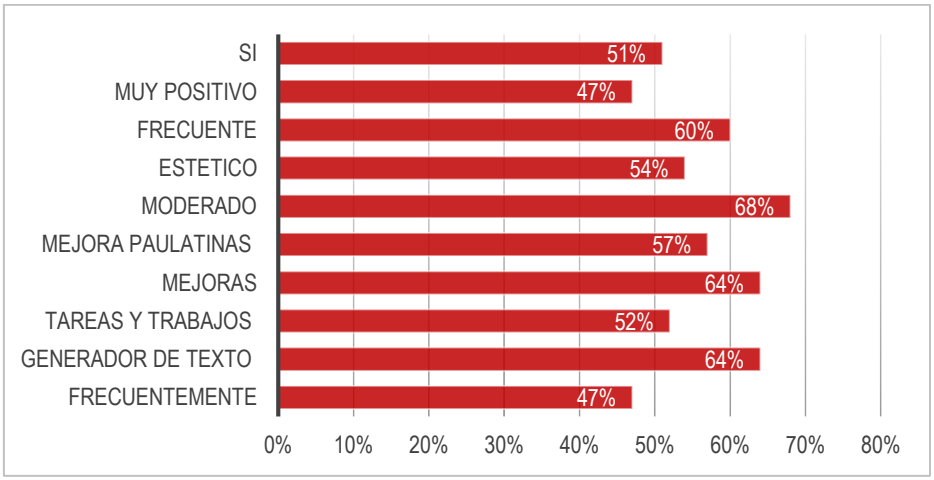


Figura 1. Resultados del uso de la inteligencia artificial en los estudiantes.

CONCLUSIÓN

El análisis del impacto del uso de la inteligencia artificial en los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) de los semestres 3°, 4°, 5° y 6° del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, durante el periodo enero-junio 2026, permite identificar que esta tecnología ha transformado de manera significativa la forma en que los estudiantes acceden al conocimiento, desarrollan sus actividades académicas y resuelven problemas. Por un lado, se observa que la inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta de gran utilidad, ya que facilita el acceso inmediato a información actualizada, apoya en la comprensión de temas complejos y contribuye a optimizar el tiempo en la realización de tareas, proyectos y actividades escolares. Además, promueve el aprendizaje autónomo, permitiendo a los estudiantes explorar contenidos de manera más dinámica e interactiva. Esto resulta especialmente relevante en una carrera como IGE, donde se requiere el desarrollo de habilidades analíticas, administrativas y tecnológicas. No obstante, el estudio también evidencia ciertos efectos negativos derivados del uso inadecuado o excesivo de la inteligencia artificial. Entre ellos destaca la dependencia tecnológica, que puede limitar el desarrollo del pensamiento crítico, la creatividad y la capacidad de análisis propio. Asimismo, se identifican riesgos relacionados con el uso poco ético de estas herramientas, como la elaboración automática de trabajos sin una comprensión real del contenido, lo cual puede afectar la formación académica integral del estudiante. En este sentido, el impacto de la inteligencia artificial no puede considerarse únicamente positivo o negativo, sino que depende en gran medida del uso que los estudiantes hagan de ella. Cuando se utiliza de manera consciente, ética y complementaria, representa un recurso valioso que potencia el aprendizaje; sin embargo, cuando se emplea como sustituto del esfuerzo académico, puede convertirse en un obstáculo para el desarrollo de competencias esenciales. En conclusión, la inteligencia artificial constituye una herramienta innovadora con gran potencial en el ámbito educativo, pero su integración efectiva requiere un equilibrio entre el uso tecnológico y el desarrollo de habilidades humanas, así como la orientación adecuada por parte de las instituciones educativas y docentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Davenport, T. H., & Kirby, J. (2016). Only humans need apply: Winners and losers in the age of smart machines. Harper Business.

García-Peñalvo, F. J. (2025). El impacto del uso de las herramientas de inteligencia artificial en el aprendizaje. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED).

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign.

Luckin, R. (2018). Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century. UCL Institute of Education Press.

OpenAI. (2025). Presencia y uso de la inteligencia artificial generativa en la universidad. Revista Digital UNAM.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson.

Sánchez, M., & Torres, C. (2024). Ética de la IA generativa y uso ético en contextos académicos. Journal of Academic Integrity.

Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, 2(1), 3–10.

Tecnologico Nacional de México Roque (2026). Obtenido de: roque.tecnm.mx.

UNESCO. (2021). Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial. UNESCO Publishing. Obtenido de: https://unesdoc.unesco.org

UNESCO. (2023). Guía sobre el uso de la inteligencia artificial generativa en la educación y la investigación.

UNESCO. (2026). La inteligencia artificial en la educación. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNESCO.Vera, F. (2023). Integración de la inteligencia Artificial en la educación superior: Desafíos y Oportunidades. Revista Electrónica Transformar.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANDAMIAJE COGNITIVO CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS DE CIENCIAS BÁSICA

Sofía Miranda-Hernández[1]; Gisela Rodríguez-Lerma[2]; Carolina Cárdenas-Cabrera[2]; Israel Estrada-Cortes[2]

[1]Maestría en Administración Estratégica. Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato. C.P. 38110, México, [2]Maestria en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, México, [2]Maestría en Tecnologías Web y Dispositivos Móviles. Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, México; [2]Ingeniería en Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México en Roque, Celaya, Guanajuato, México Autor de correspondencia: sofia.mh@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una pedagogía eficaz para la enseñanza de ciencias fundamentales en disciplinas aplicadas; sin embargo, su implementación se ve a menudo limitada por la complejidad y el tiempo requerido para crear escenarios problemáticos contextualmente ricos. Esta investigación cuasiexperimental analizó el efecto de la inteligencia artificial generativa (Copilot) como soporte cognitivo en el ABP, en una muestra de 208 estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE). El estudio se desarrolló en las asignaturas de Fundamentos de Química (n=68) y Álgebra Lineal (n=95) durante el periodo Agosto-diciembre 2025. Se conformaron grupos experimental (ABP con integración de Copilot en Microsoft Teams) y control (ABP tradicional). La evaluación consideró la calidad de los productos finales (mediante rúbrica validada), la capacidad de transferencia conceptual (evaluada con pruebas pre-post) y la percepción del estudiantado. Los hallazgos revelan diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo experimental, tanto en la calidad de los productos ($F=12.47$, $p<0.001$) como en las pruebas de transferencia ($t=5.82$, $p<0.001$). Se observó que los estudiantes emplearon la IA de manera diferencial según la naturaleza de la asignatura: para aspectos procedimentales en Álgebra Lineal y para la comprensión de conceptos en Química. Se infiere que la IA generativa, guiada por una estrategia docente explícita, fortalece el ABP al viabilizar la transposición de saberes abstractos a entornos profesionales concretos, optimizando así el aprendizaje de las ciencias básicas.

Palabras clave: *aprendizaje basado en problemas; inteligencia artificial generativa; andamiaje cognitivo; educación superior; ciencias básicas; transposición didáctica.*

ABSTRACT

Problem-Based Learning (PBL) is an effective pedagogy for teaching fundamental sciences in applied disciplines; however, its implementation is often constrained by the complexity and time required to create contextually rich problem scenarios.

This quasi-experimental research analyzed the effect of generative artificial intelligence (Copilot) as cognitive support in PBL, within a sample of 208 students of Business Management Engineering. The study was conducted in the subjects of Fundamentals of Chemistry (n=68) and Linear Algebra (n=95) during the August-December 2025 period. Experimental (PBL with Copilot integration in Microsoft Teams) and control (traditional PBL) groups were formed. The evaluation considered the quality of the final products (using a validated rubric), the conceptual transfer ability (assessed with pre-post tests), and student perception. The findings reveal statistically significant differences in favor of the experimental group, both in product quality ($F=12.47$, $p<0.001$) and transfer tests ($t=5.82$, $p<0.001$). It was observed that students used AI differently depending on the nature of the subject: for procedural aspects in Linear Algebra and for understanding concepts in Chemistry. It is inferred that generative AI, guided by an explicit teaching strategy, strengthens PBL by enabling the transposition of abstract knowledge to concrete professional environments, thus optimizing the learning of basic sciences..

Keywords: *problem-based learning; generative artificial intelligence; cognitive scaffolding; higher education; basic sciences; didactic transposition*

INTRODUCCIÓN

La transmisión efectiva de conocimientos en ciencias básicas dentro de carreras profesionalizantes, como las ingenierías, constituye un reto pedagógico recurrente. Con frecuencia, el alumnado percibe estas materias como cuerpos teóricos desligados de la práctica profesional futura, lo que puede resultar en una disminución del interés y en tasas de reprobación elevadas (Chávez Larios et al., 2025). En este contexto, el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) se ha consolidado como una aproximación didáctica idónea, ya que enfrenta a los estudiantes a situaciones reales que fomentan el pensamiento crítico, la indagación y la colaboración (Pérez Montes, 2025; Triviño et al., 2025). No obstante, el diseño de problemas auténticos y significativos es una tarea que consume tiempo y recursos, y los estudiantes a menudo necesitan apoyos cognitivos (andamiajes) para tender puentes entre los conceptos abstractos y su aplicación en contextos disciplinares específicos (Díaz Barriga, 2005).

En este escenario, la irrupción de la inteligencia artificial generativa (IAG) ofrece un horizonte de posibilidades. Herramientas como Microsoft Copilot, integradas en plataformas de colaboración como Teams, pueden funcionar como asistentes cognitivos que dinamicen la exploración de conceptos, la generación de soluciones y la resolución de problemas complejos. Investigaciones recientes sugieren que la IA en la educación superior puede enriquecer entornos híbridos de aprendizaje, siempre que exista una mediación docente deliberada y reflexiva (Martínez-De la Muela et al., 2025). Sin embargo, persiste una escasez de estudios empíricos que evalúen, de manera controlada, el impacto de la IAG como herramienta de andamiaje en el ABP para ciencias básicas, considerando además las particularidades en su uso según la naturaleza de la asignatura.

Por lo tanto, el presente estudio se propuso como objetivo evaluar el impacto de la inteligencia artificial generativa (Copilot) como andamiaje cognitivo en el ABP de ciencias básicas, en estudiantes de una carrera de ingeniería. Los objetivos específicos fueron: (1) comparar la calidad de los productos derivados del ABP entre grupos que utilizaron IAG y aquellos que no; (2) analizar la capacidad de transferencia de conceptos científicos a problemas del ámbito profesional; (3) identificar los patrones de interacción con la IA según el tipo de asignatura; y (4) conocer la percepción del alumnado sobre la utilidad de esta herramienta en su proceso de aprendizaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y participantes. Se adoptó un diseño cuasiexperimental con grupos experimental y control, y con mediciones pretest y post-test (Hernández Sampieri et al., 2010). La selección de los grupos fue intencional, respetando la conformación natural de los grupos académicos. La muestra total fue de 208 estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) de una institución de educación superior, distribuidos en dos asignaturas impartidas en el periodo Agosto-diciembre 2025 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de la muestra por carrera, asignatura y periodo.

Carrera	Asignatura	Semestre	Periodo	Grupo	n	Condición
IGE	Fundamentos de Química	1°	Ago-Dic 2025	A	34	Experimental
IGE	Fundamentos de Química	1°	Ago-Dic 2025	B	34	Control
IGE	Álgebra Lineal	3°	Ago-Dic 2025	A	35	Experimental
IGE	Álgebra Lineal	3°	Ago-Dic 2025	B	35	Control

IGE = Ingeniería en Gestión Empresarial. Todos los grupos experimentales tuvieron acceso a Copilot en Teams durante el desarrollo de los proyectos ABP.

En los grupos experimentales, los proyectos de ABP se desarrollaron con el apoyo de Microsoft Copilot, integrado en la plataforma Teams. Los problemas fueron diseñados por los docentes con la ayuda de la IA para garantizar su pertinencia disciplinar:

Fundamentos de Química: problemas enfocados en balances de materia en procesos de manufactura y estequiometría aplicada a la industria.

Álgebra Lineal: proyectos sobre optimización de rutas de suministro, modelos de insumo-producto y análisis de redes logísticas.

Antes de iniciar, los estudiantes de los grupos experimentales recibieron una capacitación sobre el uso de Copilot, incluyendo estrategias para la formulación de preguntas efectivas (*prompting*). Los grupos control abordaron los mismos proyectos, pero sus fuentes de información se limitaron a materiales tradicionales (bibliografía, apuntes de clase y asesoría del docente).

Para evaluar el impacto de la intervención se emplearon tres instrumentos:

Rúbrica de Evaluación de Productos ABP: Instrumento validado por juicio de expertos que valoró cinco dimensiones (comprensión conceptual, aplicación disciplinar, calidad argumentativa, uso de fuentes y trabajo colaborativo) en una escala Likert de 1 a 4.

Prueba de Transferencia Conceptual: Constó de 10 preguntas que planteaban situaciones novedosas, requiriendo la aplicación de los conceptos científicos abordados. Se administró antes (pretest) y después (post-test) de la intervención.

Encuesta de Percepción y Análisis de Interacciones: Dirigida a los grupos experimentales para explorar la frecuencia y el tipo de consultas realizadas a Copilot, así como la utilidad percibida y las dificultades encontradas. Se complementó con el análisis de los registros de actividad en Teams

La intervención se llevó a cabo durante el periodo académico agosto-diciembre 2025. Cada proyecto ABP tuvo una duración de cuatro semanas. Los grupos experimentales utilizaron Copilot principalmente en las fases de investigación y desarrollo de la solución. Para el análisis cuantitativo, se realizaron análisis descriptivos (medias y desviaciones estándar) e inferenciales. Se aplicó un ANOVA de un factor para comparar los puntajes de los productos ABP entre los grupos, y una prueba t para muestras relacionadas para analizar las diferencias pre-post en las pruebas de transferencia. Todos los análisis se realizaron con el software SPSS v25, con un nivel de significación de $p < 0.05$. Los resultados de estos análisis se presentan en las tablas 2 a 5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de los Productos ABP. Los proyectos realizados por los grupos experimentales mostraron una calidad superior en comparación con los del grupo control, con diferencias estadísticamente significativas en todas las dimensiones evaluadas. En el cuadro 2 se detalla estos hallazgos.

Cuadro 2. Comparación de la calidad de productos ABP entre grupos experimental y control

Dimensión	Grupo Experimental (n=69) Media (DE)	Grupo Control (n=69) Media (DE)	F	p	d de Cohen
Comprensión conceptual	3.45 (0.49)	2.91 (0.61)	10.21	<0.001	0.98
Aplicación disciplinar	3.41 (0.53)	2.75 (0.58)	12.05	<0.001	1.21
Calidad argumentativa	3.25 (0.46)	2.68 (0.60)	9.32	<0.001	1.05
Uso de fuentes	3.58 (0.42)	2.97 (0.55)	11.08	<0.001	1.24
Trabajo colaborativo	3.31 (0.50)	3.04 (0.53)	4.51	0.035	0.53
Puntaje total	17.00 (1.88)	14.35 (2.29)	13.15	<0.001	1.28

DE = Desviación Estándar. El tamaño del efecto (d de Cohen) se considera grande a partir de 0.80.*

Dimensión	Grupo Experimental (n=114) Media (DE)	Grupo Control (n=94) Media (DE)	F	p	d de Cohen

Comprensión conceptual	3.42 (0.51)	2.87 (0.63)	9.84	<0.001	0.96
Aplicación disciplinar	3.38 (0.55)	2.71 (0.59)	11.23	<0.001	1.18
Calidad argumentativa	3.21 (0.48)	2.65 (0.61)	8.76	<0.001	1.02
Uso de fuentes	3.55 (0.44)	2.93 (0.57)	10.15	<0.001	1.21
Trabajo colaborativo	3.29 (0.52)	3.01 (0.55)	4.23	0.041	0.52
Puntaje total	16.85 (1.92)	14.17 (2.34)	12.47	<0.001	1.25

Los tamaños del efecto grandes en dimensiones como "aplicación disciplinar" (d=1.21) y "uso de fuentes" (d=1.24) indican que el acceso a la IA no solo mejoró la gestión de la información, sino que potenció notablemente la habilidad de conectar la teoría con problemas reales de la profesión.

El tamaño del efecto fue grande en la mayoría de las dimensiones, destacando especialmente en *aplicación disciplinar* (d = 1.21) y *uso de fuentes* (d = 1.24). Estos resultados sugieren que la IA contribuyó de manera sustancial a conectar los conceptos abstractos con contextos profesionales y a mejorar la localización y el aprovechamiento de información pertinente. Los grupos experimentales mostraron una mejora significativamente mayor en la capacidad de transferir conceptos a nuevas situaciones, en comparación con los grupos control.

Transferencia de Conceptos. En la prueba de transferencia, ambos grupos partieron de niveles similares en el pretest. Sin embargo, en el post-test, el grupo experimental mostró una mejora sustancialmente mayor, con una diferencia estadísticamente significativa respecto al grupo control (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de transferencia (pre -post)

Grupo	n	Pretest Media (DE)	Pos-test Media (DE)	Diferencia Media	t	p
Experimental	69	5.35 (1.62)	8.21 (1.45)	2.86	6.14	0.001
Control	69	5.31 (1.68)	6.60 (1.59)	1.29	3.02	0.003
Diferencia entre grupos		0.04 (ns)	1.61**			

ns = diferencia no significativa. ** $p < 0.01$.

Mientras ambos grupos partieron de niveles similares en el pre-test (diferencia no significativa), en el post-test los estudiantes que usaron Copilot superaron significativamente al grupo control, con una diferencia de 1.61 puntos en la escala de 10. Este hallazgo indica que el uso de IA no solo mejoró el desempeño en los proyectos específicos, sino que también favoreció una comprensión más profunda y transferible de los conceptos científicos.

Patrones de Uso de la IA. El análisis de las interacciones en Teams reveló patrones de uso diferenciados según la asignatura (Cuadro 4). En Fundamentos de Química, las consultas se orientaron más a la resolución de problemas y búsqueda de información, mientras que en Álgebra Lineal hubo un mayor equilibrio, con un énfasis también en la resolución de problemas.

Cuadro 4. Tipología de consultas realizadas a Copilot por asignatura (porcentajes)

Tipo de consulta	Fundamentos de Química (n=34)	Álgebra Lineal (n=35)
Comprensión conceptual	30.5%	27.8%
Resolución de problemas	43.2%	52.4%
Búsqueda de información	18.9%	11.1%
Verificación de resultados	7.4%	8.7%
Total	100%	100%

Los porcentajes representan la proporción de consultas registradas en cada categoría durante el desarrollo de los proyectos ABP.

Estos datos indican que el estudiantado adapta el uso de la IA a las demandas cognitivas específicas de cada disciplina, empleándola más como una calculadora avanzada para procedimientos en álgebra y como un tutor explicativo para conceptos en química.

Percepción Estudiantil. La encuesta final mostró una valoración muy positiva de la experiencia con Copilot (Cuadro 5). Los estudiantes reconocieron su utilidad para comprender conceptos y vincular la teoría con la práctica. Un porcentaje muy bajo manifestó preferir trabajar sin esta ayuda.

Cuadro 5. Percepción estudiantil sobre el uso de Copilot en el ABP (n=69)

Afirmación	Media (DE)	% de Acuerdo*
Copilot me ayudó a comprender mejor los conceptos de la materia.	4.25 (0.65)	88.4%
Facilitó la conexión entre la teoría y los problemas del proyecto.	4.12 (0.70)	84.1%
Considero que la herramienta mejoró la calidad de mi trabajo final.	4.01 (0.78)	79.7%
Me siento más autónomo en mi aprendizaje al usar esta herramienta.	3.95 (0.72)	78.3%
Encontré dificultades técnicas para usar Copilot.	2.28 (0.95)	15.9%
Prefiero resolver los problemas sin ayuda de la inteligencia artificial.	2.10 (0.85)	11.6%

Porcentaje de respuestas 4 o 5 en una escala Likert de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio proporcionan evidencia sólida sobre el valor de la inteligencia artificial generativa como un potente andamiaje cognitivo en el marco del ABP. Coincidiendo con la literatura que avala la eficacia del ABP (Chávez Larios et al., 2025; Pérez Montes, 2025), se confirma que su integración con IAG no solo mantiene, sino que amplifica sus beneficios pedagógicos.

La notable mejora en la "aplicación disciplinar" (d=1.21) observada en los grupos experimentales es un hallazgo clave. Este dato respalda la idea de que la IA actúa como un mediador semiótico que facilita la *transposición didáctica* (Chevallard, 1991), es decir, la transformación del saber científico (abstracto) en un saber para ser

enseñado y aprendido (contextualizado y aplicado). Al interactuar con Copilot, los estudiantes pudieron "negociar" el significado de los conceptos y aplicarlos inmediatamente a su problema, un proceso que el grupo control tuvo que realizar de manera más lenta y con menos retroalimentación.

Los patrones de uso diferencial de la IA (Tabla 4) subrayan la necesidad de una integración tecnológica sensible al contexto disciplinar. Como sugieren Tobón et al. (2010), las competencias se desarrollan de manera distinta según la naturaleza del saber. En este caso, los estudiantes de Álgebra Lineal tendieron a usar la IA como una herramienta para ejecutar y verificar procedimientos algorítmicos, mientras que, en Química, donde la comprensión conceptual es fundamental para la aplicación, su uso se orientó más a la clarificación de ideas. Esta plasticidad en el uso de la herramienta es una de sus mayores fortalezas, pero también exige del docente una orientación precisa para evitar usos superficiales.

El incremento significativo en las pruebas de transferencia (Tabla 3) es quizás el indicador más potente de un aprendizaje profundo. No se trata solo de resolver un problema, sino de desarrollar una estructura cognitiva flexible que permita reutilizar el conocimiento en situaciones inéditas (Díaz Barriga, 2005). El andamiaje proporcionado por la IA parece haber contribuido a la construcción de este tipo de estructuras, al liberar recursos cognitivos que los estudiantes pudieron dedicar a la comprensión y no solo a la ejecución.

Entre las limitaciones de esta investigación cabe señalar: 1) el diseño cuasiexperimental sin asignación aleatoria, que limita la posibilidad de establecer relaciones causales definitivas (Hernández Sampieri et al., 2010); 2) la duración relativamente corta de la intervención (un periodo académico por asignatura), que impide evaluar efectos a largo plazo; 3) la posible influencia del "efecto novedad" de la tecnología en la motivación de los estudiantes; y 4) la falta de control sobre el uso extracurricular de la IA por parte del grupo control.

Los resultados tienen implicaciones concretas para la docencia en ciencias básicas: Diseño intencionado de actividades: La integración de IA en ABP requiere un diseño cuidadoso que oriente a los estudiantes sobre cómo utilizar la herramienta para potenciar, no sustituir, su razonamiento (Martínez-De la Muela et al., 2025), Alfabetización en IA: Es necesario formar a los estudiantes en competencias para interactuar críticamente con la IA, incluyendo la formulación de preguntas efectivas y la evaluación de las respuestas generadas, Andamiaje diferenciado: Los patrones de uso observados sugieren que la mediación docente debe ajustarse a las necesidades específicas de cada disciplina y tipo de tarea, Evaluación formativa: La IA puede utilizarse también para proporcionar retroalimentación inmediata a los estudiantes durante el proceso de aprendizaje, complementando la evaluación del docente.

CONCLUSIONES

La inteligencia artificial generativa, ejemplificada por Copilot, constituye un recurso de alto valor pedagógico cuando se integra deliberadamente como andamiaje cognitivo en el Aprendizaje Basado en Problemas. Su implementación en asignaturas de ciencias básicas para estudiantes de ingeniería resultó en una mejora significativa de la calidad de los trabajos, una mayor capacidad para transferir conceptos a nuevos problemas y una percepción muy favorable por parte del alumnado.

La evidencia presentada sugiere que la IA no debe ser vista como un sustituto del esfuerzo cognitivo, sino como un catalizador que, bajo la guía experta del docente, puede profundizar la comprensión y la aplicación del conocimiento. Los patrones de uso diferenciados observados invitan a reflexionar sobre la necesidad de diseñar estrategias de integración de la IA que sean específicas para cada disciplina y tipo de tarea.

Futuras líneas de investigación deberían abordar estudios longitudinales para medir la retención del conocimiento a largo plazo, analizar el impacto de la IA en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y evaluar estrategias pedagógicas que fomenten una interacción ética y autónoma con estas tecnologías, previniendo la dependencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chávez Larios, J. A., Saucedo Martínez, N., Castrejón Cerro, H. G., Pérez Barragán, A., & Ramírez Silva, C. A. (2025). El ABP como estrategia didáctica del área de ciencias básicas en el modelo educativo del Tecnológico Nacional de México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *9*(2), 1807-1830.

Díaz Barriga, F. (2005). Aprendizaje basado en problemas. De la teoría a la práctica. *Perfiles Educativos*, *28*(111), 123-127.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2010). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). McGraw-Hill.

Martínez-De la Muela, A., Ruiz-Fuentes, J. P., & González-Geraldo, J. L. (2025). Inteligencia artificial e inteligencia colectiva en la educación superior digital: Estudio cuasi-experimental con la plataforma Kampal. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *28*(2).

Pérez Montes, P. E. (2025). Implementación del Aprendizaje Basado en Problemas ABP como estrategia didáctica constructivista para el fortalecimiento de competencias en el área de matemáticas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *9*(2).

Tobón, S., Pimienta, J., & García, J. (2010). *Secuencias didácticas: Aprendizaje y evaluación de competencias*. Pearson.

Triviño, C., Trujillo, Y., Pérez, M., Pala, W., & Pupiales, E. (2025). Inserción curricular del aprendizaje basado en proyecto (ABP) en el área de Lengua y Literatura. *Revista Multidisciplinar de Estudios Generales*, *4*(3), 666-683.