Innovación biotecnológica:

retos y oportunidades en la agricultura moderna

Editores

Claudia Yared Michel López
Gregorio Joya Dávila
Ulin Antobelli Basilio Cortés
Daniel Gonzalez Mendoza
Olivia Tzintzun Camacho
Dagoberto Durán Hernandez
Miguel Cabrera Cruz
Alexis Salazar Navarro

astra editorial

Innovación biotecnológica:

Retos y oportunidades en la agricultura moderna

astra
editorial

Innovación biotecnológica:

Retos y oportunidades en la agricultura moderna

Claudia Yared Michel López
Gregorio Joya Dávila
Ulin Antobelli Basilio Cortés
Daniel Gonzalez Mendoza
Olivia Tzintzun Camacho
Dagoberto Durán Hernandez
Miguel Cabrera Cruz
Alexis Salazar Navarro
Editores

astra editorial

Innovación biotecnológica: retos y oportunidades en la agricultura moderna. **Autores-Editores***:* Dra. Claudia Yared Michel López, Dr. Gregorio Joya Dávila, Dr. Ulin Antobelli Basilio Cortés, Dr. Daniel Gonzalez Mendoza, Dra. Olivia Tzintzun Camacho, Dr. Dagoberto Durán Hernandez, Dr. Miguel Cabrera Cruz y Dr. Alexis Salazar Navarro— Baja California, México. 2026.

Publicación electrónica digital: descarga y online; detalle de formato: EPUB.

Primera edición
D. R. © copyright 2026. Dra. Claudia Yared Michel López, Dr. Gregorio Joya Dávila, Dr. Ulin Antobelli Basilio Cortés, Dr. Daniel Gonzalez Mendoza, Dra. Olivia Tzintzun Camacho, Dr. Dagoberto Durán Hernandez, Dr. Miguel Cabrera Cruz y Dr. Alexis Salazar Navarro.

ISBN: **979-13-88349-33-1**

DOI: **https://doi.org/10.61728/AE26004020**

La presente obra fue dictaminada bajo el sistema de doble ciego y cuenta con el aval de los dictámenes de pares académicos.

Edición y corrección: **Astra ediciones**

Todos los contenidos de esta publicación, se comparten bajo la licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional **(CC BY-NC-SA 4.0)**, Esto implica que no está autorizado el uso comercial de la obra original ni de las eventuales obras derivadas, las cuales deberán distribuirse bajo la misma licencia que rige la obra original. No obstante, se permite a terceros compartir el contenido siempre y cuando se reconozca debidamente la autoría y la publicación original en esta editorial.

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

CUERPOS ACADÉMICOS COLABORADORES:

Biotecnología Agropecuaria, UABC
Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, UJUAT
Agricultura Tropical Sustentable, UJUAT
Biotecnologías para el Desarrollo sustentable del Estado de Chiapas, ITTG
Agro ecosistemas de Zonas Áridas, UABC
Fisiología y Ambiente en la Producción Agrícola, UABC
Agua y Suelo, UABC
Agricultura y Medio Ambiente, UABC
Nutrición y Medicina Preventiva, UABC

Contenido

Presentación 39

I. Biotecnología agrícola 41

Capítulo 1
Efectividad de productos químicos, biológicos y biorracionales para el control de ***Fusarium*** SPP. En tomatillo (***Physalis ixocarpa*** BROT.) 43
Romero Chávez Octavio Alberto
Ayala Armenta Quintín Armando
Pérez Mora Juan Luis
López Valenzuela Blanca Elvira
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto

Capítulo 2
Identificación y caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo asociadas a la rizósfera de ***Yucca schidigera*** 51
Castro Villavicencio Alondra
Tzintzun Camacho Olivia
Michel López Claudia Yared
Joya Davila José Gregorio
Gónzalez Mendoza Daniel

Capítulo 3
Capacidad bioestimulante de bacterias promotoras de crecimiento vegetal de suelos de mínima labranza 59
Serrano López Luis Angel
Armenta Ayala José Oscar
Zazueta López Jorge Enrique
Estrada Acosta Mitzi Deyanira
Amarillas Bueno Luis Alfonso
López Orona Carlos Alfonso
Angulo Castro Azareel

Capítulo 4
Efecto de un bioestimulante sobre el estado hídrico y la respuesta fisiológica de ***Vitis vinifera*** L. CV. Sweet globe en la Costa de Hermosillo 67

Peralta Duarte Gonzalo
Julio César Rodríguez
Fidencio Cruz Bautista
María Eugenia Rentería Martinez
Jesús Villa Sauceda
Capítulo 5
Lechuga hidropónica con relaciones nitrato-urea y concentraciones de níquel con luz artificial 75
Lara Murrieta Praxedes
Angulo Castro Azareel
Armenta Ayala José Oscar
Ayala Tafoya Felipe
Cazarez Flores Luz Llarely
Cruz Bojorquez Jesús Enrique
Tucuch Haa Cesar Jacier
Capítulo 6
Efectos del déficit hídrico sobre pigmentos fotosintéticos e índices ópticos en ***Capsicum chinense*** bajo condiciones de invernadero en el Valle de Mexicali 83
López Esquer Axel Obed
Daniel González Mendoza
Joya Dávila José Gregorio
Miguel Alejandro Cabrera Cruz
Serrano Gómez Leslie Alondra
Salazar Navarro Alexis
Tzintzun Camacho Olivia
Durán Hernández Dagoberto
Ail Catzim Carlos Enrique
Capítulo 7
Bacterias solubilizadoras de fósforo y antagonistas de ***Lasiodiplodia*** SP., fitopatógeno del cultivo de arándano 91
Valenzuela Cuadras Edgar
González Mendoza Daniel
González Molotla Iris Alejandrina
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
Rábago Zavala Karen

Armenta Medina Alma
López Valenzuela Blanca Elvira
Capítulo 8
Bioestimulación con zinc en semillas de cebada maltera mediante ***Priming***, cultivada en suelo arcilloso del Valle de Mexicali 99
Vega Sánchez Lorena Edith
Salazar Navarro Alexis
Basilio Cortes Ulin Antobelli
Joya Dávila José Gregorio
Serrano Gómez Leslie Alondra
Alvarado Padilla Jorge Iván
González Mendoza Daniel

II. Agua y suelo.....107

Capítulo 9
Determinación de la capacidad de retención de agua en una parcela de arroz en el distrito de riego 043, Nayarit, México 109
Can Chulim Álvaro
Cruz Crespo Elia
Ortega Escobar Héctor Manuel
García Paredes Juan Diego
Mancilla Villa Óscar Raúl
Ramos Ramírez Lesset del Consuelo
Capítulo 10
Efecto del acrilato de potasio en el cultivo de sorgo (***Sorgum bicolor***) como retenedor de humedad en suelos aluviales.....117
Romero Berrelleza José Pablo
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
Rabago Zavala Karen
Herrera Rodríguez Gabriel
Ayala Armenta Quintín Armando
López Valenzuela Blanca Elvira
Capítulo 11
Uso de agua de mar en la producción de acelga (***Beta vulgaris***) con riego por capilaridad 125

Zamora Salgado Sergio
Beltrán Morales F. Alfredo
Ruíz Espinoza Higinio
Meza Pérez, Clara Alicia G.
Murillo Chaidez Ramón A.
Méndez Garfias Consuelo

Capítulo 12

Textura del suelo: influencia en el rendimiento y calidad del cultivo de cebolla (***Allium cepa*** L.) 133
Armenta Ayala José Oscar
Angulo Castro Azareel
González Balcázar Antonio
Ruiz Quintero Federico
Serrano López Luis Ángel
Zazueta López Jorge Enrique

Capítulo 13

Conservación de la humedad del suelo utilizando acolchados orgánicos en una región semiárida de México 141
Delgadillo Ruiz Eladio
Arias Hernández Luz Adriana
Rodríguez Aguilera Aldo Saúl
Ruiz Vázquez Estefanía Belen
Delgadillo Ruiz Lucía
Maldonado Santoyo María
Berumen Cervantes Arturo

Capítulo 14

Factores condicionantes para la optimización del riego en chile pimiento bajo condiciones protegidas en el Valle de Elota, Sinaloa 149
López Avendaño Jesús Enrique
Meléndrez Galaviz Ángel Gerardo
Martínez Gallardo José Ángel
Zazueta Torres Norma Delia
Rodríguez Julio César
Estrada Acosta Mitzi Dayanira
Amarillas Bueno Luis Alfonso
Cruz Bautista Fidencio

Capítulo 15
Técnica alternativa hidropónica para la producción de lechuga (***Lactuca sativa*** L.) en clima cálido extremo 157
Lucero Vega Gregorio
Troyo Diéguez Enrique
Ruíz Espinoza Francisco Higinio
Monroy Ceseña Marco Antonio
Capítulo 16
Efecto del riego, aclareo y fertilización, en la maduración del nopal tunero cristalina (***Opuntia ficus-indica***) en el municipio de Pinos, Zacatecas 165
Santoyo Rodríguez Armando Silvestre
Valtierra Marín Héctor Emmanuel
Delgadillo Ruiz Lucía
Valencia Adame Laura Elvira
Mercado Reyes Marisa
Valdés Romero Eduardo

III. Cultivos hortícolas.....173

Capítulo 17
Características agronómicas de cebada con riego normal y restringido en el Valle del Yaqui, Sonora 175
Salazar Huerta Francisco Javier
Ávila Perches Miguel Angel
Rodríguez Pérez Gilberto
Muñoz Valenzuela Sergio
Casas Ramírez Miguel
Chávez Bauman Oscar
Martínez Flores Luis
Capítulo 18
Efecto de las soluciones nutritivas en el crecimiento de maracuyá (***Passiflora edulis***).....183
Cruz Crespo Elia
Can Chulim Álvaro
Pérez Robles Karina

Tapia Varela José Raúl
Ramos Ramírez Lesset del Consuelo
Medina Carrillo Raquel Enedina
Jiménez Meza Víctor M.
Capítulo 19
Caracterización agronómica y forrajera de líneas de cebada maltera en el Valle de Mexicali.....191
Lemus Romero Sebastián
Joya Dávila José Gregorio
Salazar Navarro Alexis
Basilio Cortes Ulin Antobelli
Zavala Molina Federico
Serrano Gómez Leslie Alondra
Alvarado Padilla Jorge Iván
Tzintzun Camacho Olivia
González Mendoza Daniel
Capítulo 20
Evaluación del efecto del quitosano y sus diferentes pesos moleculares en la fenología del cultivo de tomate (***Solanum lycopersicum*** L.).....199
Anaya Castro Daniel Alejandro
Armenta Bojórquez Adolfo Dagoberto
Escobedo Bonilla Cesar Marcial
Galaviz Lara Julián Alberto
López Valenzuela Blanca Elvira
Capítulo 21
Alternativas de fertilización de fondo en la producción de rabano sandía 207
Carballo Méndez Fernando de Jesús
Cota Carballo María Antonieta
Ruiz Espinoza Francisco Higinio
Capítulo 22
Crecimiento y composición mineral de plántulas de tomate bajo la influencia de silicio.....215
Cázarez Flores Luz Llarely
Zazueta Torres Norma Delia
Angulo Castro Azareel

Serrano López Luis Ángel
Molina Cárdenas Lorena
Ley López Nancy
Román Román Leonardo
Capítulo 23
Efecto de distintas dosis de fertilización y riego en el comportamiento de variables agronómicas del cultivo de maíz (***Zea mays*** L.).....223
López Araujo Santiago Manuel
Rodríguez Apodaca Jesús Ramón
Graciano Obeso Adalid
Capítulo 24
Efecto de las horas frío sobre las etapas fenológicas del trigo cultivado en el sur de Nuevo León.....231
Moreno Vitela Jesús Rubén
Velasco López José Luis
Ruíz Torres Norma Angélica
Lozano del Río Alejandro Javier
Sánchez Ramírez Francisco Javier
Capítulo 25
Evaluación del rendimiento de grano de trigos harineros en tres densidades de siembra.....239
Trejo Martinez Carlos
Velasco López José Luis
Ruíz Torres Norma Angélica
Espitia Hernández Pilar
Sosa Flores Mayra Alejandra
Colín Rico Modesto
Capítulo 26
Evaluación del rendimiento de forraje seco de trigos forrajeros en tres densidades de siembra 247
Tun Cauich Juan Gregorio
Velasco López José Luis
Ruíz Torres Norma Angélica
Lozano del Río Alejandro Javier
Espitia Hernández Pilar
Colín Rico Modesto

Capítulo 27
Influencia de la nutrición química y orgánica sobre el rendimiento de maíz azul (***Zea mays*** L.) durante el ciclo primavera-verano en el Valle de Mexicali, B.C.....255
Uribe Orozco María Elena
Durán Hernández Dagoberto
Munguía Cariño Gamaliel
Galicia Juárez Marisol
Basilio Cortés Ulin Antobelli
González Mendoza Daniel
Michel López Claudia Yared
Soto Ortiz Roberto
Joya Dávila José Gregorio
Capítulo 28
Interacción genotipo x ambiente (***Iga***) del rendimiento de grano en trigos cristalinos 261
Velasco López José Luis
Ruíz Torres Norma Angélica
Hernández Martínez Rosendo
Sosa Flores Mayra Alejandra
Espitia Hernández Pilar
Lozano del Río Alejandro Javier
Colín Rico Modesto

IV. Agricultura de precisión.....269

Capítulo 29
Acolchado del suelo en la detección multitemporal automatizada de plantas de repollo (***Brassica oleracea*** Var. ***Capitata*** L.) mediante fotografías aéreas.....271
Samaniego Gamez Samuel U.
Yáñez Juárez Moisés G.
Núñez Ramírez Fidel
Payán Arzapalo María A.
Valle Gough Raúl E.
Samaniego Gamez Blancka Y.

Capítulo 30
Monitoreo de la humedad del suelo con sensores en trigo comercial con tres riegos de auxilio en riego por gravedad.....279
Ortiz Enríquez José Eliseo
Félix Fuentes José Luis
Félix Valencia Pedro
Padilla Valenzuela Isidoro
Barrales Gamez Benjamín
Márquez Cervantes Jesús Arnulfo
Capítulo 31
Calidad de composta de gallinaza y su efecto en la fertilidad del suelo y rendimiento de papa (***Solanum tuberosum*** L.) 287
Valenzuela Uribe Martha Romina
Herrera Rodríguez Gabriel
Ruelas Islas Jesús del Rosario
Fuentes Verduzco Cipriano
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
López Valenzuela Blanca Elvira
Capítulo 32
Diseño y simulación de una máquina extractora de semillas de calabaza pipiana (***Cucurbita argyrosperma*** K. Koch) 295
Salazar Melgar Plutarco
Villaseñor Perea Carlos Albertos
Mancera Rico Arturo
López Canteñs Gilberto de Jesús
Capítulo 33
Construcción de un indicador de sostenibilidad agroecológica en función de la productividad por uso del agua y rentabilidad de cultivos en el noroeste de México 307
Troyo Diéguez Enrique
Lucero Vega Gregorio
Nieto Garibay Alejandra
Murillo Amador Bernardo
Fraga Palomino Héctor
Capítulo 34
Riego automatizado con arduino y comunicación lora.....317

Villa Sauceda Jesús
Rodríguez Julio Cesar
Cruz Bautista Fidencio
Peralta Duarte Gonzalo
Capítulo 35
Caracterización morfológica del grano de lenteja (***Lens culinaris medik***) mediante análisis de imágenes digitales.....325
Sauceda Acosta Carlos Patricio
Sauceda Acosta Raúl Hipólito
Fuentes Verduzco Cipriano
Salcido Santillán Rosario Angelica
Beltrán Peña Hugo
Capítulo 36
Impacto de hongos asociados a enfermedades de la uva (***Vitis vinífera***) y mecanismos de acción de control biológico.....333
Ceballos Chávez Ángel Rosario
Delgado Domínguez Marvin
Chávez Tiznado Carlos Servando
Rábago Zavala Karen
Chávez García Leidy Erisleida
López Valenzuela Blanca Elvira
Capítulo 37
Impacto económico del aprovechamiento parcial de sesbania como forraje en un sistema de conservación en trigo.....341
Espinoza Alonso Juan Angel
Montiel Batalla Blanca Margarita
Avendaño Ruíz Belem Dolores
Sierra López Olga Alejandra
Aguilar Quiñones José Antonio
Gastelum Delgado Miguel Angel
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe
Galicia Juárez Marisol
Capítulo 38
Comparación de dos métodos de medición de NDVI para predecir el estado fisiológico del girasol forrajero en el Valle del Yaqui.....349
García Bolívar Elco Humberto

Galicia Juárez Marisol80
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe
Ochoa Espinoza Xochilt Militza
Brígido Morales Juan Gabriel
García Mendúvil Helio Adán
Capítulo 39
Fuerza de adhesión de las plántulas de jitomate para su recolección en el trasplante automático.....357
Grande Gaudencio
Hidalgo Reyes Martín
Cruz Pedro
Velázquez López Noé
Capítulo 40
Rentabilidad de la producción de dátil en el Valle de Mexicali.....367
Montiel Batalla Blanca Margarita
Achiquen Millán Jimena
Galicia Juárez Marisol
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe
Hernández Pérez Jonathan
Castañeda Trujano Francisco Javier
Lazalde Cruz Rosalba
Capítulo 41
Por tu salud y nutricion IAP: un modelo de promotora comunitaria en Baja California y Sonora con la participación de mujeres rurales.....375
Morales Maza Alma Rosa
Morales Maza Antonio
Cervantes-Díaz Lourdes
Muñoz Madrid Alba Rocío
Afani Regalado Ana Genoveva
Mendoza Olmos Itzel
Capítulo 42
Lombricomposta y fitorregulador en el crecimiento de plantas de calabacita (***Cucurbita pepo*** L.) en casa sombra 381
Román Román Leonardo
López Avendaño Jesús Enrique

Rojas Pérez Héctor
Félix Ceballos José Ignacio
Martínez López Fabián
Camacho Angulo Flavio
Morales Maza Antonio
Molina Cárdenas Lorena

V. Fitosanidad.....389

Capítulo 43
Crecimiento ***in vitro*** de ***Phytophthora*** capsici en respuesta a la calidad de luz emitida por combinaciones de LED.....391
Zazueta Torres Norma Delia
Cázarez Flores Luz Llarely
Rojas Pérez Héctor
Mendoza Gómez Aurelia
Yáñez Juárez Moisés Gilberto
López Avendaño Jesús Enrique
Cano Campos Mirta Candelaria
Capítulo 44
Efecto de bioestimulantes en el crecimiento morfométrico de plantas de maíz (***Zea mays*** L.) Cultivadas en invernadero.....399
Valle-Castillo Carmen Elena
Valdez-Morales Maribel
Magallanes-Tapia Marco Antonio
Valenzuela-Escoboza Fernando Alberto
Ceballos-Chávez Ángel Rosario
López-Valenzuela Blanca Elvira
Capítulo 45
Sensibilidad ***in vitro*** a metil tiofanato de aislados de ***Sclerotinia sclerotiorum*** causante del moho blanco en frijol.....407
Pérez Mora Juan Luis
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
López Valenzuela Blanca Elvira
Ayala Armenta Quintín Armando

Rábago Zavala Karen
García León Elizabeth
Capítulo 46
Caracterización de los daños de ***Platynota*** sp. (***Lepidóptera: tortricidae***) en arándano mediante muestreo secuencial.....415
González Vega Jesús Adrián
Ruiz Ramírez Jesús Fortunato
López Valenzuela Blanca Elvira
Ramírez Ahuja María de Lourdes
García Gutiérrez Cipriano
López Bautista Everardo
Capítulo 47
Etiología de la muerte descendente del arándano (***Vaccinium corymbosum***) en el norte de Sinaloa, México.....421
González Molotla Iris Alejandrina
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
López Valenzuela Blanca Elvira
Ayala Armenta Quintín Armando
Rabago Zavala Karen
Beltrán Peña Hugo
Acosta Rodríguez José Luis
Capítulo 48
Diversidad y abundancia de la entomofauna y acarofauna del cultivo de chile (***Capsicum annuum*** L.) en el norte de Sinaloa.....429
Montiel Reyes Alejandro
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
Ayala Armenta Quintín Armando
López Valenzuela Blanca Elvira
Rábago Zavala Karen
Valenzuela Cuadras Edgar
Murillo Corrales Marcos Adrián
Capítulo 49
Patogenicidad cruzada de especies de ***Rhizoctonia*** asociadas a papa, frijol y maíz en Sinaloa, México.....439
Rabago Zavala Karen

Valenzuela Escoboza Fernando Alberto
Ayala Armenta Quintín Armando
Pérez Mora Juan Luis
Ceballos Chávez Ángel Rosario
González Molotla Iris Alejandrina
Capítulo 50
Mortalidad de adultos de ***Anthonomus eugenii*** (Cano, 1894) (***Coleoptera: curculionidae***) por ***Metarhizium*** sp en condiciones de laboratorio 447
Ordaz Silva Salvador
Pedro Méndez José Guadalupe
Ríos Velasco Claudio
Soto Ortiz Roberto
Delgadillo Ángeles Jorge Luis
Carrazco Peña Laura Dennisse
Capítulo 51
Infecciones mixtas de hongos fitopatógenos asociados a la muerte de césped (***Cynodon dactylon***) en campos de golf de Baja California Sur.....455
Romero Bastidas Mirella
Tirado Jara Julio Martín
Romero Bastidas Jesús Iván
Márquez Calderón Mario Alberto
Acevedo González Jorge Antonio
Molina Martínez Victor
Capítulo 52
Micoflora de semillas de cebada (***Hordeum vulgare***) de diferente regiones de México 463
*Salazar Huerta Francisco Javier**
Ávila Perches Miguel Angel
Rodriguez Perez Gilberto
Muñoz Valenzuela Sergio
Casas Ramírez Miguel
Martínez Flores Luis

VI. Trabajos en cartel.....471

Capítulo 53
Extractos vegetales y tierra de diatomea para el control de ***Sitophilus zeamais motschulsky*** en maíz almacenado.....473
Félix Camacho Silvia Alicia
Sánchez Burgos Manuel Eduardo
Cruz Bojórquez Jesús Enrique
González Balcázar Antonio
Cruz Ortega Jacobo Enrique
Leal Bon Teresita de Jesús
Rodríguez Rosas Laura Elena
Capítulo 54
Micropartículas de silicio y ácido acetilsalicílico en plántula de pepino bajo condiciones de casa sombra.....481
Aragón Martínez Sergio A.
Cázarez Flores Luz Ll.
Aguilar Quiñones José A.
López Orona Carlos A.
Angulo Castro Azareel.
Vega Gutiérrez Tomas A.
Serrano López Luis A.
Capítulo 55
Efecto de bacterias endófitas nodulantes en la germinación y vigor de semillas de frijol (***Phaseolus vulgaris*** L.).....487
López-Mora Karla Celina
Valenzuela-Escoboza Fernando Alberto
Rabago-Zavala Karen
Ayala-Armenta Quintín Armando
González-Molotla Iris Alejandrina
Capítulo 56
Evaluar el efecto de cuatro sustratos, sobre la concentración de clorofila a, b y total en hojas de chile jalapeño (***Capsicum annuum*** L.) Mediante análisis espectrofotométrico).....493
García Villaseñor Julio Cesar
Fuentes Verduzco Cipriano

Sauceda Acosta Carlos Patricio
Ruelas Islas Jesús Del Rosario
Rábago Zavala Karen
Capítulo 57
Impacto del HLB en la producción de naranja valencia y marrs en Veracruz 501
San Martín Matheis Héctor A.
Flores Sánchez Jorge L.
Domínguez Monge Santiago
Félix Camacho Silvia
Cruz Bojórquez Jesús E.
González Balcazar Antonio
Magaña Félix Teodoro E.
Capítulo 58
Rendimiento y calidad de siete híbridos de maíz (***Zea mays*** L.) en el Valle de Mexicali, Baja California. P-V. 2024.....509
Camarillo Pulido Mario
Ávila Casillas Eva
Rene Gómez Mercado
Capítulo 59
Validación de cuatro variedades de cártamo (***Carthamus tinctorius*** L.), De tipo oleico en el Valle de Mexicali, Baja California, México.....517
Eva Ávila Casillas
Mario Camarillo Pulido
Rene Gómez Mercado
Nestor Aguilera Molina
Xochilt M. Ochoa Espinoza
Elco Humberto García Bolivar
Carlos Cota Barreras
Capítulo 60
Desempeño de umbrales en la segmentación de imágenes escaneadas de granos de trigo 523
Salcido Santillán Rosario Angelica
Sauceda Acosta Carlos Patricio
Borbón Gracia Alberto

García León Elizabeth
Fuentes Verduzco Cipriano
Capítulo 61
Harina de mezquite (***Prosopis juliflora***) y suero lácteo para elaboración de una bebida funcional sustentable 531
Gómez Herrera J. Daniel
Méndez Trujillo Vianey
Roque Jiménez J.Alejandro
Sáenz Pardo Reyes Erika
Torres Maravilla Edgar
Cornejo Bravo J. Manuel
Capítulo 62
Características físicas y sensoriales del dátil con fertilización orgánica.....539
Flores Peñaloza Olivia
Ramos Lima Mayra
Arredondo Cruz, M.A.
Cantabrana Galindo Saharay
Capítulo 63
Acrilato de potasio como alternativa para mitigar la escasez de agua en el cultivo de chile jalapeño (***Capsicum annuum*** L.) bajo diferentes sustratos en hidroponía.....547
Rangel Preciado Alan Gerardo
Ruiz Martínez Fortunato
López Bautista Everardo
Peñuelas Montoya Francisco
Miranda Valdez Jaime Antonio
Capítulo 64
Extractos vegetales para el control de mosca blanca y pulgón en el cultivo de chile bell en Culiacán, Sinaloa.....553
Ruiz Quintero Federico
Félix Camacho Silvia Alicia
Cruz Bojórquez Jesús Enrique
González Balcázar Antonio
Cruz Ortega Jacobo Enrique

Castro Rubio Heidi Maribel
Zazueta López Jorge Enrique
Leal Bon Teresita de Jesús
Capítulo 65
Estudio preliminar del potencial del orujo de uva en la alimentación animal 561
Moreno Cruz Carlos Francisco
Tzintzun Camacho Olivia
González Mendoza Daniel
Cabrera Cruz Miguel Alejandro
Gerónimo Cruz Anabel
Pacheco Hernández Yesenia
Capítulo 66
Extracción de ácido carmínico como colorante natural a partir de la cochinilla (***Dactylopius coccus*** (***Hemiptera: dactylopiidae***).....569
*Roque Valenzuela Yareli**
Gómez Hernández Magda Isabel
Capítulo 67
Aplicación de diferentes dosis de un inductor de resistencia contra la cenicilla del tomate (***Oidiopsis taurica salmon***), en Sinaloa, México 577
Cruz Bojórquez Jesús Enrique
González Balcázar Antonio
Cruz Ortega Jacobo Enrique
Ruiz Quintero Federico
Félix Camacho Silvia Alicia
Rodríguez Rosas Laura Elena
José Oscar Armenta Ayala
Capítulo 68
Efecto combinado de extractos de algas marinas y ácidos fúlvicos sobre parámetros de calidad y crecimiento de uvas cabernet sauvignon (***Vitis vinifera*** L.) 583
Verdugo Gaxiola Sara Elizabeth
Díaz Rubio Laura Janeth
Montaño Soto Myriam Tatiana
Córdova Guerrero Iván

Capítulo 69
Uso de estimulantes de propagación vegetativa de pitahaya (***Hylocereus undatus***).....591
Higuera Márquez, José Isidro
Lucero Vega Gregorio
Monroy Ceseña Marco Antonio
Ruíz Espinoza Francisco Higinio
Capítulo 70
Bioestimulación en el crecimiento de plántula de chile jalapeño (***Capsicum annuum*** L.).....597
Mena Adriano Jesús Omar
López Valenzuela Blanca Elvira
Romero Félix Celia Selene
Beltrán Félix Jesús Alejandro
Buelna Tarín Salomón
López Bautista Everardo
Capítulo 71
Evaluación de rendimiento de chile mini bell pepper (***Capsicum annuum*** L.) a campo abierto en la zona de San Quintín, Baja California.....603
Guerrero Flores Luis Alonso
Iribe Herrera Mariela Yudith
Bazante González Isidro
Mendoza Gómez Aurelia
Suarez Hernández Ángel Manuel
Capítulo 72
Optimización de la programación de riego en cultivo de algodón por calibración local de sensores TDR, Valle de Mexicali, Baja California, México.....611
Armendáriz Bejarano Jorge Francisco
Rodríguez Burgueño Jesús Eliana
Molina Saldívar Héctor Iván
Juan Gabriel Brígido Morales
Valenzuela Sarabia Marco Romario

Capítulo 73
Rendimiento del trigo cristalino (***Triticum durum***) y productividad del agua bajo dos fechas de siembra y dos láminas de riego en dos ciclos agrícolas 619
Fernández Hernandez Marbella
Cruz Bautista Fidencio
Rodríguez Julio César
Capítulo 74
Aislamiento y virulencia de poblaciones de bacterias en el cultivo de chile (***Capsicum*** SPP.) del estado de Sinaloa.....629
López Molina R.
Vega Gutiérrez T. A.
Molina Cárdenas L.
López Orona C. A.
Tirado Ramírez M. A.
López Urquidez G. A.
Román Román L.
Capítulo 75
Propagación de pitahaya (***Hylocereus undatus***) mediante material vegetativo.....635
Borjas Pérez Aldo Jaciel
Vega Gregorio Lucero
Ruiz Espinoza Francisco Higinio
Coronado García Manuel Arturo
Sánchez García Romina de Jesús
Capítulo 76
Comportamiento poblacional de ***Raoiella Indica Hirst*** (***Acari: tenuipalpidae***) en el cultivo de palma datilera en el Valle de Mexicali.....643
*Ramos Lima Mayra**
Arredondo Cruz Manuel V.
Flores Peñaloza Olivia
García Velázquez Angel
Capítulo 77
Evaluación de producción y calidad de tres variedades de pepino (***Cucumis sativus*** L.) en condiciones de hidroponía.....651

Ortega Yepiz Cristhian Misael
Vega Gregorio Lucero
Ruiz Espinoza Francisco Higinio
Coronado García Manuel Arturo
Capítulo 78
Identificación de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de chile (***Capsicum annuum*** L.) en la región Centro-Norte de Sinaloa, México 659
Valle Castillo Laura B.
López Orona Carlos A.
Luna Cervantes Mara H.
Arce Johnson Patricio
Romero Romero Jesús L.
Capítulo 79
Frecuencia de fertilización en el cultivo de pepino (***Cucumis sativus*** L.) 667
Rico Sánchez Marcos Antonio
Alonso Castro Jose Octavio
Zamora-Salgado Sergio
Ruiz Espinoza Francisco Higinio
Beltrán Morales Félix Alfredo
Murillo Chaidez Ramón Alejandro
Méndez Garfias Consuelo
Capítulo 80
Rendimiento de cártamo tipo oleico en dos ciclos agrícolas en el valle de culiacán 673
Cota Barreras Carlos I.
Márquez Godoy Jaime N.
Ramírez Soto Milagros
Gutiérrez Gutiérrez Obed G.
Ochoa Espinoza Xochilt M.
Aguilera Molina Néstor A.
Ávila Casillas Eva
Pérez Márquez Jesús
Navejas Jiménez Jesús

Capítulo 81
Yodo y selenio en el crecimiento de Lactuca sativa hidropónica bajo luz artificial.....679
Castro Rubio Heidi Maribel
Estrada Acosta Mitzy Dayanira
Amarillas Bueno Luis Alfonso
González Balcázar Antonio
Rubio Aragón Walter Arturo
Armenta Ayala José Oscar
Angulo Castro Azareel
Capítulo 82
Rendimiento y peso de semilla de 25 genotipos de frijol azufrado.....687
Cota Barreras Carlos I.
Márquez Godoy Jaime N.
Ramírez Soto Milagros1
Gutiérrez Gutiérrez Obed G.
Sauceda Acosta Raúl H.
García Álvarez Nadia C.
Rodríguez Cota Franklin G.
Acosta Gallegos Jorge A.
Capítulo 83
Producción de cebolla (Allium cepa L.) con diferentes dosis y fuentes de nitrógeno en riego por goteo.....695
Zazueta López Jorge Enrique
López Urquidez Guadalupe Alfonso
Angulo Castro Azareel
Armenta Ayala José Oscar
López Orona Carlos Alfonso
Martínez Gallardo José Ángel
Tirado Ramírez Martín Abraham
Capítulo 84
Fertilización nitrogenada en soya (***Glycine max*** L.) Evaluada mediante espectrofotometría directa e indirecta.....703
Antonio Bojórquez Oscar
Fuentes Verduzco Cipriano
Sauceda Acosta Raúl H.

Flores Sánchez Jorge Luis
Sauceda Acosta Carlos Patricio1
Capítulo 85
Inhibición del crecimiento micelial de ***Fusarium oxysporum*** mediante fico-nanopartículas de Cu, Zn y Zn/Cu sintetizadas a partir de ***Eisenia*** SP 711
Gonzalez Méndez Daniela J
Chimal Vega Brenda
González Mendoza Daniel
Castro Villavicencio Alondra
Méndez Trujillo Vianey
Capítulo 86
Producción de espinaca (***Spinacia oleracea***) en columnas verticales 719
Temoatzin Abraham Loyola Orduña
Zamora Salgado Sergio
Ruiz Espinoza Francisco Higinio
Beltrán Morales Félix Alfredo
Murillo Chaidez Ramón Alejandro
Méndez Garfias Consuelo
Capítulo 87
Frecuencia y métodos de riego en cultivo de pepino (***Cucumis sativus***) en zonas áridas.....725
Alonso Castro J. Octavio
Rico Sánchez M. Antonio
Zamora Salgado Sergio
Murillo Chaidez Ramón A.
Méndez Garfias Consuelo
Capítulo 88
Contenido de clorofila en acelga tratada con bioestimulante a base de agua de mars.....731
Quintero Angie Natalia
Zamora Salgado Sergio
Arce Amézquita Pablo Misael
Ruíz Espinoza Francisco Higinio
Beltrán Morales Félix
Alfredo

Murillo Chaidez Ramón Alejandro
Méndez Garfias Consuelo
Capítulo 89
Glicina-betaina en el crecimiento de variedades de frijol común bajo estrés hídrico 739
Castro Espinoza Alondra Guadalupe
Romero Félix Celia Selene
Almada Ruiz Víctor Gabriel
Sánchez Soto Bardo Heleodoro
Sauceda Acosta Raúl Hipólito
Capítulo 90
Evaluación de bioestimulantes en el desarrollo foliar y radicular de la acelga.....745
Ramirez Nuñez Oscar Patricio
Quintero Zarrate Angie Natalia
Meza Perez Clara Alicia Guadalupe
Zamora Salgado Sergio
Espinoza Ruiz Francisco Higinio
Beltran Morales Felix Alfredo
Murillo Chaidez Ramon Alejandro
Mendez Garfias Consuelo
Capítulo 91
Caracterización bromatológica de la harina de semilla de dátil de dos variedades.....753
Pacheco Preciado Odalis
González Mendoza Daniel
Mendez-Trujillo Vianey
Tzintzun Camacho Olivia
Duran Hernández Dagoberto
Basilio Cortes Ulin
Galicia Juárez Marisol
Capítulo 92
Beneficios del orujo de uva en la industria alimentaria.....761
Zamudio Moreno José Eduardo
Tzintzun Camacho Olivia

Vaconcelos Ulloa Javier
Olvera Sandoval Carlos
Méndez Trujillo Vianey
Capítulo 93
Efecto de acondicionador de suelo y aminoácidos sobre el crecimiento de plantas de ***Cucumis sativus*** L. en condiciones de estrés hídrico en invernadero 769
Rodríguez Castro Jesús Javier
Romero Félix Celia Selene
Ruelas Islas Jesús Del Rosario
Buelna Tarín Salomón
Sifuentes Ibarra Ernesto
Capítulo 94
Análisis comparativo de la composición nutrimental y antioxidante de huitlacoche y hongo ostra 777
Diaz Ruiz Georgina
Méndez Trujillo Vianey
González Mendoza Daniel
Reyes Pavón Diana
Torres Maravilla Edgar
Nieblas Almada Rosa Amparo
Capítulo 95
Cáscara de cacahuate como fuente potencial de compuestos bioactivos y antioxidantes 785
Ymai Sasaki Yoshio I.
Méndez Trujillo Vianey
González Mendoza Daniel
Navarro Ibarra María J.
Galindo Hernández Octavio
Torres Valdés León F.
Capítulo 96
Identificación y control químico de hongos fitopatógenos que afectan al cultivo de la manzana (***Malus domestica***) 795
Nevárez González Mariela
Chávez García Leidy Erisleida

Mc Cauhgey Espinoza Diana Miriam
Nayelli Ayatzol Vidal Martínez
Chávez Tiznado Carlos Servando
Ceballos Chávez Ángel Rosario
Capítulo 97
Uso de vermicompost de estiércol ovino en tomate (***Solanum lycopersicum***): características, ventajas y desventajas.....803
García Campos Lucio
Ceja Torres Luis Fernando
López Díaz Sigifredo
Gutiérrez Hernández Germán Fernando
Capítulo 98
Efecto de cempasúchil (***Tagetes erecta***) sobre la población y diversidad fungica asociada a su rizosfera.....811
Murillo Chaidez Ramon Alejandro
Romero Bastidas Mirella
Nieto Garibay Alejandra
Palacios Espinoza Alejandro
Capítulo 99
Evaluación hidráulica de un sistema de goteo por cinta.....817
León Alvarado Hanna Lucia
Camacho Cota Ángel Daniel
Zamora Salgado Sergio
Ruíz Espinoza Higinio
Beltrán Morales F. Alfredo
Capítulo 100
Rendimiento y macollaje en trigo harinero (***Triticum aestivum*** L.) y trigo cristalino (***Triticum durum***) en el Valle del Yaqui, Sonora.....825
Flores Bracamontes María Fernanda
Cortés Jiménez uan Manuel
Ortiz-Ávalos Alma Angélica
Capítulo 101
Dinámica de infestación natural de ***Dactylopius opuntiae*** en nopal verdura (***Opuntia ficus-indica***) bajo condiciones áridas en Baja California Sur, México.....837

Tirado Jara Julio Martín
Romero Bastidas Jesús Iván
Capítulo 102
Efecto de fertilización orgánica en el desarrollo y producción de chiles (***Capsicum annuum*** L.) criollos de Morelos y Jalisco, México..845
Verdugo Pérez Sergio
Pacheco Quintero Antonio
Pacheco Olvera Antonio
Hernández Verdugo Sergio
Osuna Rodríguez José Manuel
Capítulo 103
Desarrollo de bebida de caña "Wuara", alternativa de sostenibilidad y valor agregado en el cultivo en el dorado, Sinaloa.....853
Cano Campos Mirta Candelaria
López García Altagracia
Zazueta Torres Norma Delia
Díaz Izabal Alejandro
Rojas Pérez Hector
Cazares Soto Felipe de Jesús
Cazares Soto José Manuel
Capítulo 104
Valoración de la aplicación de inteligencia artificial en sembradoras como estrategia para modernizar la agricultura mexicana.....861
Ramírez Vázquez Jessica
Oyorzabal Marquez Oneyda
Rojas Sandoval Leticia
Ayala Gary Oscar Javier
Capítulo 105
Caracterización de chile manzano (***Capsicum pubescens*** R. P.) de Morelos, México.....871
Pacheco Quintero Antonio
Pacheco Olvera Antonio
Hernández Verdugo Sergio
Osuna Rodríguez José Manuel

Capítulo 106
Influencia de la fertilización química y orgánica en la calidad de frutos de toronja variedad "Rio red" 879
Rojas Pérez Héctor
Zazueta Torres Norma D.
Mejía Delgadillo Mario Alejandro
Colón Sandoval Alejandra
Luna Maldonado Alejandro I.
Román Román Leonardo
Sanhouse García Antonio Jesús
Contreras Salazar Ernesto
Martínez López Fabián
Félix Ceballos José Ignacio
Capítulo 107
Influencia de la fertilización presiembra sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de cebollín (***Allium schoenoprasum*** L.) 887
Silva Martínez Julián Jose
Ruisanchez Ortega Yohandri
Camacho Vindiola Adrian
Salomón Torres Ricardo
Peña Yam Laura Patricia
Samaniego Sandoval Laura
Capítulo 108
Aplicación foliar de fitonanopartículas y su efecto sobre pigmentos fotosintéticos y la actividad antioxidante de chile habanero (***Capsicum chinense***) 895
Alfaro Corres Arnoldo
Mendez Trujillo Vianey
González Mendoza Daniel
Joya Dávila José Gregorio
Valdez Salas Benjamin
Ruiz Sánchez Esau
Reyes Ramírez Arturo
Garruña Rene

Capítulo 109
Manejo de ***Melanaphis sacchari*** Zehntner con insecticidas botánicos en el cultivo de sorgo 903
López Cuén Pedro Iván
Payán Arzapalo María Alejandra
Yáñez Juárez Moisés Gilberto
Tirado Ramírez Martin Abraham
Vega Gutiérrez Tomás Aarón
Molina Cárdenas Lorena
Delgado Pacheco Verónica
Román Román Leonardo
Rubio Aragón Walter Arturo
Capítulo 110
Uso del DNVI como herramienta de predicción del rendimiento de grano en líneas de triticale 911
López Alvarado Diana
Galicia Juárez Marisol
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe
Achiquen Millán Jimena
Soto Ortiz Roberto
Alvarado Padilla Jorge Iván
Cisneros López Ma. Eugenia
Capítulo 111
Tetranychus Merganser boudreaux (***Acari: tetranychidae***) plaga potencial para la agricultura en el estado de Tamaulipas, México 919
Hernández Meléndez Paola Elizabeth
Chacón Hernández Julio César
Ramírez Barrón Sonia Noemí
Rocandio Rodríguez Mario
Mora Ravelo Sandra Grisell
Villagomez Gonzalez Kathya Fernanda

Presentación

El contenido de este libro comprende ocho temáticas integradas en diferentes áreas del conocimiento, como: 1) Biotecnología agrícola, 2) Agua y suelo, 3) Inocuidad agroalimentaria, 4) Cultivos hortícolas, 5) Agricultura sostenible, 6) Bioeconomía, 7) Agricultura de precisión, 8) Fitosanidad. En cada una de las temáticas se abordan diferentes mecanismos de acción, emprendimiento e innovación estratégica implementada para afrontar los diferentes retos actuales de la agricultura moderna.

Los capítulos presentados corresponden a los temas presentados en la Vigésima Octava Edición del Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas 2025, que tiene como objetivo abordar los principales aspectos de innovación biotecnológica en las ciencias agrícolas y áreas afines, así como acercar el conocimiento a través del intercambio de experiencias, como resultado de trabajos e investigaciones científicas propuestas y desarrolladas por los diferentes sectores científicos, públicos y privados.

La organización del 28.º Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas 2025 fue coordinada por el Cuerpo Académico (CA) de Biotecnología Agropecuaria del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) y de instituciones coorganizadoras nacionales e internacionales: Universidad de Sonora, Universidad Autónoma de Sinaloa, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Nota aclaratoria

El contenido de los documentos incluidos en este libro son responsabilidad exclusiva de sus autores.

I

Biotecnología agrícola

Capítulo **1**

Efectividad de productos químicos, biológicos y biorracionales para el control de *Fusarium* SPP. En tomatillo (*Physalis ixocarpa* BROT.)

Romero Chávez Octavio Alberto[1]
Ayala Armenta Quintín Armando[1]
Pérez Mora Juan Luis[1]
López Valenzuela Blanca Elvira[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[1]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agricultura de Valle del Fuerte1. Av. Japaraqui y Calle 16. Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa. México. C.P. 81110 .E. mail: armandoayala@favf.mx.

Resumen

El tomatillo (Physalis ixocarpa Brot.) es una planta anual originaria de México y Guatemala, la cual se cultiva en regiones tropicales y subtropicales. Entre los patógenos que afectan este cultivo destacan Fusarium spp., Rizoctonia solani y Macrophomina phaseolina; estos provocan marchitez, amarillamiento y muerte de la planta. El objetivo de esta investigación fue evaluar la sensibilidad *in vitro* de *Fusarium* spp. contra productos químicos, biológicos y biorracionales. Se utilizaron cepas de *Fusarium oxysporum*, *F. nygamai* y *Neocosmospora falciformis*, aisladas de tomatillo e identificadas molecularmente. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones. Los resultados del estudio indicaron que Procloraz y Tiabendazol mostraron la mayor inhibición de crecimiento en todos los aislados, mientras que Carbendazim presentó eficacia parcial. Los productos biológicos Prevence y Biosanifull registraron inhibiciones menores, aunque con efecto positivo en ciertos aislados.

Introducción

El tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una planta anual originaria de México y Guatemala, ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales, principalmente en países del continente americano (González-Pérez y Guerrero-Beltrán, 2021). En México, durante el ciclo agrícola 2023-2024 se establecieron 39 396.78 ha, con una producción total de 694 327.31 t y un rendimiento promedio nacional de 18.51 t ha. Los principales estados productores fueron Sinaloa, Jalisco, Puebla, Michoacán, Estado de México y Guanajuato (SIAP, 2024). Destaca Sinaloa como principal productor, con 7239.10 ha y 136 593.29 t, que representan el 15 % de la producción nacional, con un rendimiento promedio de 19.98 t ha (SIAP, 2024). Entre los patógenos que afectan este cultivo se encuentran virus, bacterias, nematodos y hongos, entre los que resaltan *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina* (Apodaca-Sánchez et al., 2008). Estos organismos

ocasionan marchitez o "secadera" en diferentes etapas del desarrollo, provocando flacidez y amarillamiento del follaje, desprendimiento de frutos y, en casos severos, la muerte de la planta (Ayala-Armenta et al., 2020). El control de estas enfermedades se ha basado principalmente en el uso de productos químicos, los cuales generan impactos negativos en el medio ambiente y favorecen la resistencia de los patógenos (Ceballos-Chávez et al., 2024). Como alternativas sustentables se han propuesto productos biológicos, como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. (Ceballos-Chávez et al., 2024). Por ello, el objetivo de esta investigación fue estimar la sensibilidad *in vitro* de *Fusarium* spp. frente a productos químicos y biológicos.

Materiales y métodos

En este estudio in vitro se evaluó la eficacia de productos químicos y biológicos contra cepas de *Fusarium oxysporum* (FAVF-146, FAVF-140), *F. nygamai* (FAVF-134, FAVF-132) y *Neocosmospora falciformis* (FAVF-136, FAVF-139). El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y análisis estadístico. El objetivo fue determinar la inhibición del crecimiento de colonias de los aislados mencionados frente a diferentes tratamientos. Se probaron productos químicos: Tiabendazol (Tecto 60), Procloraz (Sportak) y Carbendazim (Derosal 500). Entre los productos biológicos se incluyeron: Prevence (*Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. yunnanense*), Biowall (*Bacillus licheniformis*), Talocuper (cobre Cu), Biosanifull (sales cuaternarias) y *Trichoderma virens*. Los aislados de *Fusarium* spp. y *N. falciformis* fueron obtenidos de tomatillo e identificados molecularmente (Ayala-Armenta et al., 2020), mientras que los aislados de *T. virens* fueron donados e identificados molecularmente (López-Valenzuela et al., 2024). Los patógenos se reactivaron en cajas Petri con medio PDA. Las dosis comerciales de los productos fueron incorporadas al medio PDA en cajas de 90 mm. Una vez solidificado el agar, se colocaron discos de 5 mm de diámetro con micelio de cada cepa en el centro de la caja. Para la confrontación con T. virens, se utilizaron medios PDA sin producto químico, donde se colocó un disco de 5 mm de micelio de *T. virens* y otro del patógeno en evaluación, ubicados en extremos opuestos de la caja Petri, a fin de observar el efecto antagónico directo.

Resultados y discusión

Cuadro 1. *Sensibilidad in vitro de productos químicos y biológicos sobre Neocomospora falciformis a dosis baja.*

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10 g	6.5 A	6.5 A	6.5 A	4.5 A	4.5 A
Procloraz	50.8 µ	6.5 A	6.5 A	6.5 A	4.5 A	4.5 A
Carbendazim	100 µ	6.5 A	6.5 A	6.5 A	13.3AB	17.1AC
Prevence	4.0 µ	15.0 AB	14.5 AB	14.5 AB	11.6AB	13.2AB
Biowall	4.8 µ	18.0 AB	18.2 AC	18.5 AC	19.25BC	13.1AB
Biosanifull	4.8 µ	22.5 BC	22.5 BC	22.5 BC	21.7BC	22.5BC
Tl	4.0 µ	26.5 BC	26.5 BC	26.7 BC	27.5C	27.2C
Testigo	---	30.5 C	30.5 C	30.5 C	29.5C	29.5 C

Rangos que no comparten la misma letra en cada columna presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del α=0.05).

Cuadro 2. *Sensibilidad in vitro de productos químicos y biológicos sobre Fusarium nigamay a dosis baja.*

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10 g	7.0 A	6.5 A	6.5 A	6.5 A	6.5 A
Procloraz	50.8 µ	7.0 A	6.5 A	6.5 A	6.5 A	6.5 A
Carbendazim	100 µ	7.0 A	6.5 A	6.5 A	6.5 A	6.5 A
Prevence	4.0 µ	13.7 BC	18.3 AB	17.5 AB	14.7 AB	14.7 AB
Biowall	4.8 µ	19.2 AC	21.1 AB	18.2 AB	18.7AC	18.2 AC
Biosanifull	4.8 µ	21.7 BC	21.3 BC	20.6 BC	22BC	22.5 BC
Tl	4.0 µ	25.7 BC	24.8 BC	25.7 BC	26.5 BC	26.5 BC
Testigo	---	31.0 C	30.0 C	31.0 C	30.5 C	30.5 C

Rangos que no comparten la misma letra en cada columna presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del α=0.05).

Cuadro 3. *Sensibilidad in vitro de productos químicos y biológicos sobre Fusarium oxysporum en dosis baja.*

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10 g	7.0 A	6.5 A	6.5 A	7.0 A	7.0 A
Procloraz	50.8 µ	7.0 A	6.5 A	6.5 A	7.0 A	7.0 A
Carbendazim	100 µ	7.0 A	6.5 A	6.5 A	7.0 A	7.0 A
Prevence	4.0 µ	13.7 BC	18.3 AB	17.5 AB	18 AB	17.3 AB
Biowall	4.8 µ	19.2 AC	21.1 AB	18.2 AB	20.8 B	20.3 B
Biosanifull	4.8 µ	21.7 BC	21.3 BC	20.6 BC	22.1 B	20.7AB
Tl	4.0 µ	25.7 BC	24.8 BC	25.7 BC	19.5 AB	22.5 B
Testigo	---	31.0 C	30.0 C	31.0 C	30.5 B	30.5 B

Rangos que no comparten la misma letra en cada columna presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del $\alpha=0.05$).

Los resultados obtenidos de dos productos químicos (procloraz y tiabendazol) presentaron una inhibición del crecimiento micelial ante los seis aislados de los patógenos confrontados. Por otro lado, el estudio realizado de manera *in vitro* con Tiabendazol para *Fusarium oxysporum* presentó un control eficiente (Alburqueque-Andrade, 2018). Esto difiere del producto carbendazim, el cual tuvo eficacia ante cinco aislados, con similitud con lo reportado por Yossen, Viviana y Conles, Martha (2014). Sin embargo, los resultados obtenidos de los productos biológicos como Prevence y Biosanifull presentaron una inhibición en el crecimiento micelial menor a la de los productos químicos. Investigación realizada con *Trichoderma* spp. inhibió a *Fusarium* spp. (Cevallos-Chávez et al., 2024). También coincide con lo reportado por Cambero-Ayon et al. (2023), donde *T. asperellum* inhibió el crecimiento micelial de *Neocosmospora falciformis*.

Conclusiones

En el estudio realizado, los productos químicos procloraz y tiabendazol fueron los que presentaron mayor eficacia para controlar a los patógenos. Carbendazim presentó una menor eficacia. Dentro de los productos biológicos utilizados, Prevence tuvo un buen control de los patógenos, controlando las tres especies.

Referencias

Alburqueque Andrade, Diana, y Gusqui Mata, Roberto. (2018). *Eficacia de fungicidas químicos para el control in vitro de diferentes fitopatógenos en condiciones controladas*. Arnaldoa, 25(2).

Apodaca-Sánchez, M. A. Barreras-Soto, M. A., Cortez-Mondaca, E., y Quintero-Benítez, J. A. (2008). *Enfermedades del Tomate de Cascara en Sinaloa*. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto Técnico No. 31. Los Mochis, Sinaloa, México. 33.

Ayala-Armenta, Q. A, Cortez Mondaca, E., Apodaca Sánchez, M. Á., Leal León, VM, Valenzuela Escoboza, FA, y Palacios Mondaca, CA (2015). *Efectividad de fungicidas convencionales y biorracionales sobre Sclerotinia sclerotiorum in vitro.* Revista mexicana de ciencias agrícolas , 6 (SPE11), 2149-2156.

Ayala-Armenta, Q. A., Fuentes, L. A. P., Peña, H. B., Pedraza, J. M. T., Escoboza, F. A. V., e Islas, J. D. R. R. (2024). *Cultivares de tomatillo susceptibles a la marchitez en Sinaloa.* Revista mexicana de ciencias agrícolas, 15(1), 1

Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba.

Ceballos-Chávez, Á. R., López-Valenzuela, B. E., Valenzuela-Escoboza, F. A., Ayala-Armenta, Q. A., Lujan-Holguin, R., y Márquez Lujan, H. A. (2024). I*dentificación y evaluación antagónica in vitro de cepas de Trichoderma spp. nativas contra patógenos del duraznero.* Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 26(2), 109-120.

González-Pérez, J. E., y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2021). T*omatillo or husk tomato (Physalis philadelphica and Physalis ixocarpa): A review. Scientia Horticulturae*, 288.

Juárez, JAO (2016). *Evaluación de Bacillus spp. en el antagonismo de fitopatógenos asociados a la secadera en tomate de cáscara, Physalis ixocarpa.*

López-Valenzuela, B. E., Armenta-Bojórquez, A. D., Hernández-Verdugo, S., Apodaca-Sánchez, M. A., Samaniego-Gaxiola, J. A., Leyva-Madrigal, K. Y., y Valdez-Ortiz, A. (2015). S*elección in vitro e identificación de aislados de Trichoderma spp. y Bacillus spp. nativos para el control de Phymatotrichopsis omnívora.* ITEA, 111(4), 310-325.

Sánchez, M. A. A., Soto, M. A. B., Mondaca, E. C., y Benítez, J. A. Q. (2008) *Enfermedades del Tomate de Cáscara en Sinaloa.*

Yossen, Viviana E. y Conles, Martha Y. (2014). *Eficacia de fungicidas utilizados in vitro para el control de Fusarium oxysporum y F. proliferatum, agentes causales del marchitamiento del orégano en Argentina.* Revista industrial y agrícola de Tucumán, 91 (1), 19-25. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttexty pid=S18513018201400010003y lng=esy tlng=en

Capítulo **2**

Identificación y caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo asociadas a la rizósfera de *Yucca schidigera*

Castro Villavicencio Alondra[1]
Tzintzun Camacho Olivia[2]
Michel López Claudia Yared[2]
Joya Davila José Gregorio[2]
Gónzalez Mendoza Daniel[2]

[1] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. CP. 21705. alondra.castro@uabc.edu.mx.

Resumen

Las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP) son capaces de transformar el fósforo (P) insoluble en una forma disponible para las plantas. En este estudio, se muestreó la rizósfera de la Y. schidigera en busca de BSP nativas de zonas áridas. Se aislaron siete morfotipos, de los cuales todos mostraron halos de solubilización y aumentaron la concentración de P soluble en medio de cultivo, alcanzando hasta las 762.43 ppm y un descenso del pH de hasta 4.5. Por lo tanto, los aislados de BSP de la *Yucca schidigera* pueden utilizarse como biofertilizantes en sistemas agrícolas, en sustitución parcial de los fertilizantes químicos fosfatados, contribuyendo a mantener la sustentabilidad y productividad de los suelos áridos.

Introducción

La disponibilidad del fósforo (P) en zonas áridas se ve influenciada por factores como el pH y el contenido de carbonatos de calcio, situación que ha generado que se apliquen cantidades excesivas de fertilizantes, desencadenando problemáticas ambientales y de salud pública (Dey et al., 2021). Una de las propuestas biotecnológicas para reducir su aplicación es la utilización de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP). Estas bacterias tienen la capacidad de transformar el P insoluble en formas biodisponibles para las plantas (Amri et al., 2023). Se ha demostrado que se encuentran principalmente en la rizósfera y que su incorporación en cultivos de importancia económica ha favorecido el desarrollo y crecimiento vegetal (Li et al., 2024). Sin embargo, su efecto se ha mostrado inconsistente cuando se aplican en diferentes tipos de suelo. Basado en esto, se propone la utilización de bacterias nativas de la región destino a la que se aplicarán (Lapsansky et al., 2016). Diversas BSP han sido aisladas de plantas desérticas (Abdelmoteleb y Mendoza, 2020). Sin embargo, no existen estudios que exploren la rizósfera de la Yucca schidigera, una especie nativa de la región

árida del noroeste de México. Por lo tanto, el objetivo de este estudio se centró en el aislamiento y caracterización de BSP asociadas a la rizósfera de la *Yucca schidigera*, para proponerse como un biofertilizante eficaz en la producción agrícola de zonas áridas.

Materiales y métodos

Recolección de muestras y aislamiento de bacterias solubilizadoras de fósforo

Se recolectaron de manera aleatoria 10 muestras de 100 g de suelo rizosférico de la planta Yucca schidigera en el poblado La Rumorosa, Baja California, México (32º31'53.7"N/116º03'22.4"W).

Las muestras de suelo se secaron y se tamizaron. Se tomaron 10 g de cada muestra y se mezclaron para formar una muestra compuesta. Para el aislamiento bacteriano, se diluyeron 10 g de la muestra compuesta en 90 ml de agua destilada estéril y se mantuvo en agitación durante 30 min a 150 rpm. Posteriormente, se aplicó el método de dilución seriada hasta la dilución 10^{-5}. A partir de las diluciones 10^{-3} y 10^{-5}, se sembraron por triplicado 0.1 mL en placas con agar nutritivo y agar Pikovskaya (PKV), las cuales se incubaron durante 24 h y 7 días a 30 °C, respectivamente.

Evaluación cualitativa de la solubilización de fósforo

Las BSP se reactivaron en medio caldo Luria Bertani (LB), incubándose durante 24 h a 30 °C con agitación de 150 rpm. Posteriormente, se sembraron 0.1 mL del cultivo bacteriano en agar PKV. La capacidad de solubilizar el P se representó a través del índice de solubilización (IS). La fórmula empleada fue la siguiente: IS = A/B, donde A = Diámetro de la colonia (mm) + diámetro del halo (mm) y B = Diámetro de la colonia (mm) (Amri et al., 2023). Finalmente, las BSP fueron agrupadas en: Baja eficiencia: IS $\leq$ 0 -1.9 mm; Eficiencia media: IS $\geq$ 2 $\leq$ 4 y alta eficiencia: IS > 4.

Evaluación cuantitativa de solubilización de fósforo

Las bacterias seleccionadas se reactivaron en caldo LB hasta alcanzar una concentración de 1x108 UFC/ml. Se transfirieron 10 mL de la suspensión bacteriana a 90 mL de caldo PKV. El control consistió en matraces sin inocular. Ambos tratamientos se realizaron por triplicado y se mantuvieron en incubación a 30 °C con agitación de 150 rpm (Mohamed et al., 2019). Las evaluaciones se realizaron a las 24 h, 48 h y 72 h de incubación. Para ello, se tomaron 2 mL del cultivo y se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 min. Se recuperó 0.1 mL del sobrenadante y se realizaron diluciones seriadas con agua destilada estéril hasta la dilución 10^(-3). Esta dilución se trabajó con el kit de BioAssay Systems, QuantiChrom® Phosphate Assay Kit (DIPI-500).

Resultados

Aislamiento y selección de bacterias solubilizadoras de fósforo

Se aislaron $4.8x10^6$ UFC/g de bacterias totales, de las cuales $2.3x10^5$ UFC/g correspondieron a BSP. De estas últimas, se identificaron siete cepas morfológicamente diferentes, a las cuales se les determinó la abundancia y el IS (Tabla 1).

Tabla 1. *Abundancia y capacidad de solubilización de fósforo de las cepas aisladas.*

Cepa	Abundancia (UFC/g)	IS*	Cepa	Abundancia (UFC/g)	IS*
T1	7×10^4	2.35++	T5	1×10^4	2.22++
T2	1×10^4	1.71+	T6	1×10^4	2.07++
T3	5×10^4	2.42++	T7	3×10^4	2.26++
T4	5×10^4	2.86++	T7		

*Clasificación de cepas de acuerdo a su capacidad de solubilización: baja (+), media (++) y alta (+++)

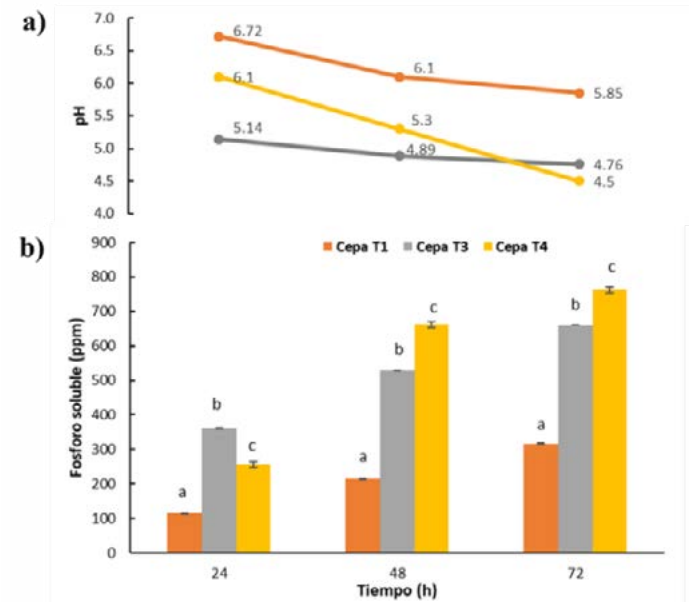
EL IS se ha correlacionado positivamente con el P soluble y la abundancia

se ha considerado uno de los factores claves que determina la tasa general de colonización de la raíz, lo que asegura una biofertilización exitosa en el campo (Guardiola et al. 2023).

Evaluación cuantitativa de la solubilización de fósforo

Los resultados indicaron que la interacción cepa x tiempo afectó ($P<0.01$) el contenido de P soluble (Figura 1). De manera general, la cepa T3 y la cepa T4 mostraron mayor eficiencia en la solubilización de P y la acidificación del medio de cultivo.

Figura 1. *Cambios en pH (a) y concentración de P soluble (b) por las diferentes cepas durante 72 h de incubación. Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre las distintas cepas en cada tiempo ($P < 0.05$).*



Varios estudios han informado que la efectividad de la solubilización de P se asocia a un descenso en el pH del medio (Mohamed et al., 2019). Esto se debe a la capacidad de las bacterias de producir y liberar ácidos orgánicos —como los ácidos glucónico, oxálico y cítrico— al medio circundante, quelando a través de sus grupos carboxílicos los cationes unidos al fosfato (Wang et al., 2023). El resultado obtenido en cuanto a la concentración de P soluble de la

cepa más eficiente en nuestro estudio fue superior al reportado por Li et al. (2024), en donde la cepa más eficiente alcanzó los 447.19 mg/L. Sin embargo, fueron similares a los reportados por Amri et al. (2023) y Joshi et al. (2023) en cepas de *Pseudomonas* y *Streptomyces*.

Conclusiones

Para diseñar biofertilizantes eficientes que contribuyan a la economía de la agricultura en zonas áridas, es imprescindible realizar una búsqueda de microorganismos con rasgos que impulsen el crecimiento vegetal. En este estudio se aislaron por primera vez BSP de la rizósfera de la Y. schidigera, las cuales mostraron un gran potencial para solubilizar el P insoluble a través de la excreción de ácidos orgánicos. Estas bacterias, al ser nativas de los suelos de la región, se infiere que están adaptadas a las condiciones bióticas y abióticas extremas. Esto las convierte en una excelente opción frente a los inoculantes que provienen de otros países.

Referencias

Abdelmoteleb, A., y González Mendoza, D. (2020). I*solation and identification of phosphate solubilizing Bacillus spp. from Tamarix ramosissima rhizosphere and their effect on growth of Phaseolus vulgaris under salinity stress.* Geomicrobiology Journal, 37(10), 901-908.

Amri, M., Rjeibi, M. R., Gatrouni, M., Mateus, D. M., Asses, N., Pinho, H. J., y Abbes, C. (2023). *Isolation, identification, and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from Tunisian soils.*

Dey, G., Banerjee, P., Sharma, R. K., Maity, J. P., Etesami, H., Shaw, A. K., Huang, Y. H., Huang, H. B. y Chen, C. Y. (2021). *Management of phosphorus in salinity-stressed agriculture for sustainable crop production by salt-tolerant phosphate-solubilizing bacteria*—A review. Agronomy, 11(8), 1552.

Guardiola Márquez, C. E., Santos Ramírez, M. T., Figueroa Montes, M. L., Valencia de Los Cobos, E. O., Stamatis Félix, I. J., Navarro López, D. E., y Jacobo Velázquez, D. A. (2023). *Identification and characterization of beneficial soil microbial strains for the formulation of biofertilizers based on native plant growth-promoting microorganisms isolated from northern Mexico.* Plants, 12(18).

Joshi, S., Gangola, S., Jaggi, V., y Sahgal, M. (2023). *Functional characterization and molecular fingerprinting of potential phosphate solubilizing bacterial candidates from Shisham rhizosphere*. Scientific Reports, 13(1), 7003.

Lapsansky, E. R., Milroy, A. M., Andales, M. J., y Vivanco, J. M. (2016). *Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity*. Current Opinion in Biotechnology, 38, 137-142.

Li, Q., Li, Q., Yin, X., Jia, Y., Yang, K., Song, J., Che, Y., Li, K., Wen, Z., Gu, X. y Yang, W. (2024). *Construction of Bacillus–Pseudomonas Synthetic Communities and Development of Bio-Nursery Substrates*. Agronomy, 14(9).

Mohamed, A. E., Nessim, M. G., Abou-El-Seoud, I. I., Darwish, K. M., y Shamseldin, A. (2019). *Isolation and selection of highly effective phosphate solubilizing bacterial strains to promote wheat growth in Egyptian calcareous soils*. Bulletin of the National Research Centre, 43(1).

Wang, X. L., Qiu, S. Y., Zhou, S. Q., Xu, Z. H., y Liu, X. T. (2023). *Phosphate-solubilizing capacity of Paecilomyces lilacinus PSF7 and optimization using response surface methodology*. Microorganisms, 11(2)..

Capítulo 3

Capacidad bioestimulante de bacterias promotoras de crecimiento vegetal de suelos de mínima labranza

Serrano López Luis Angel[1]
Armenta Ayala José Oscar[3]
Zazueta López Jorge Enrique[3]
Estrada Acosta Mitzi Deyanira[3]
Amarillas Bueno Luis Alfonso[3]
López Orona Carlos Alfonso[3]
Angulo Castro Azareel[3]

[1] Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán Eldorado km 17.5, Apartado Postal 25. Culiacán, Sinaloa, México, C. P. 80000.

Resumen

Las Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (BPCV) constituyen una alternativa biotecnológica para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles, al intervenir en procesos clave como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de reguladores de crecimiento vegetal. En este estudio se aislaron y caracterizaron cepas bacterianas obtenidas de suelos bajo mínima labranza. Se identificaron cepas productoras de ácido indolacético (AIA), con valores entre 7.62 y 17.93 mg L^{-1}; cepas solubilizadoras de fosfato, que alcanzaron concentraciones de 102.67 a 518.91 mg L^{-1}; y cepas fijadoras de nitrógeno con rendimientos entre 4.8 y 15.4 μg N mL^{-1}. Estas capacidades evidencian el potencial multifuncional de las BPCV para mejorar la disponibilidad de nutrientes y estimular el crecimiento vegetal, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos; por lo tanto, el objetivo de esta investigación es conocer la capacidad de las BPCV aisladas de suelos bajo mínima labranza.

Introducción

La creciente necesidad de alimentos ha impulsado la adopción de prácticas agrícolas convencionales y una dependencia de fertilizantes sintéticos o químicos (Katiyar et al., 2016). Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) podrían ser una alternativa gracias a su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas a través de mecanismos como la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, solubilización de minerales y producción de compuestos reguladores del crecimiento (Haskett et al., 2021). En este sentido, Lara et al. (2013) encontraron cepas en el cultivo de rábano con la capacidad de solubilizar fósforo en un rango de 236 a 596 mg L^{-1}. Por tal motivo, es necesario cuantificar su capacidad bioestimulante mediante la solubilización de fósforo, la fijación de nitrógeno atmosférico y la producción de fitohormonas como el ácido indolacético (AIA). El

objetivo de esta investigación fue conocer la capacidad bioestimulante de las BPCV aisladas de la rizosfera de suelos bajo mínima labranza.

Materiales y métodos

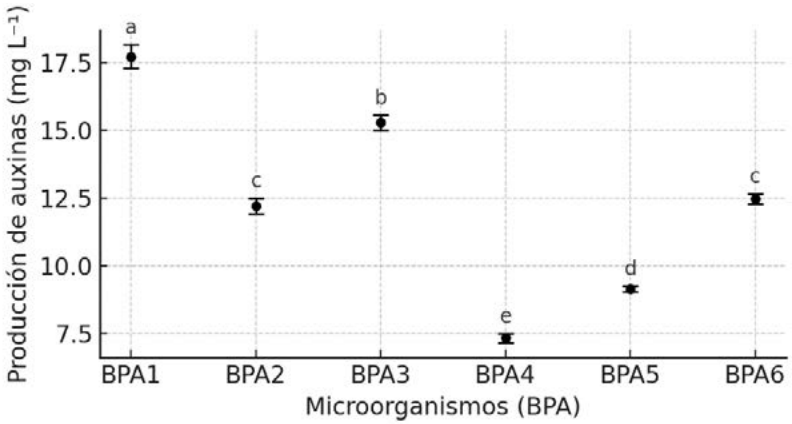
El muestreo se realizó en tres zonas productoras de Sinaloa: Estación Bamoa (Guasave), Palos Blancos (Guasave) y La Unión (Angostura), suelo franco arcilloso y con la característica específica de ser suelo para cultivo de maíz y con modalidad mínima de labranza. Así, se recolectaron seis muestras rizosféricas por sitio. Las muestras se conservaron en frío y se trasladaron al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Agronomía (UAS), donde fueron procesadas bajo condiciones de asepsia según la NOM-092-SSA1-1994 y procesadas en medios selectivos. Para bacterias solubilizadoras de fosfato, la cuantificación de fosfatos se realizó por medio de espectrofotometría (Rodríguez et al., 2013); para bacterias fijadoras de nitrógeno, se cuantificó por medio de micro-Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Y para bacterias productoras de indoles, su cuantificación se determinó por medio de fotometría de absorción (Bric et al., 1991). El diseño experimental correspondió a bloques completamente al azar con seis repeticiones, y los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa Statistica (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Se pueden observar 6 cepas bacterianas en un rango donde 7.62 mg L^{-1} es la cepa que menor produjo y 17.93 mg L^{-1} es la cepa que mayor producción obtuvo de AIA.

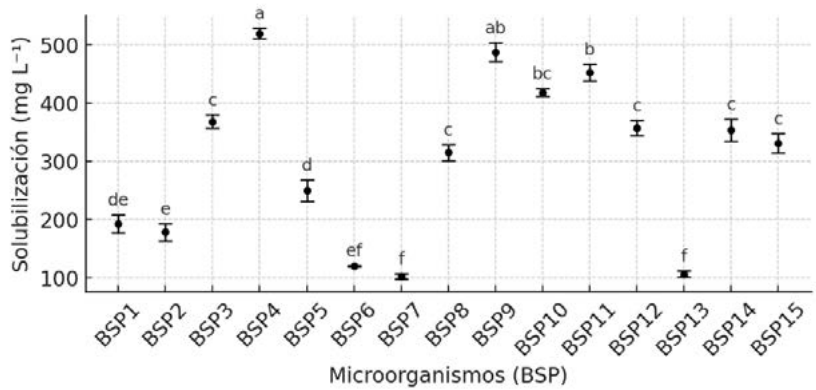
Estos resultados de las bacterias que producen indoles son similares a los reportados por Lata et al. (2024), el cual reportó 27 aislados de bacterias de la rizosfera de garbanzo en Etiopía, las cuales estuvieron en un rango de 2.15 mg L^{-1} a 26.47 mg L^{-1} de AIA. Gonzales y Aranda (2025) reportaron cepas con capacidad de producir AIA desde 2.09 mg L^{-1} hasta 35.49 mg L^{-1}. Por otra parte, Ratnaningsih et al. (2023) reportaron que la bacteria de la rizosfera de piña aislada en la localidad de Lampung, Indonesia, produjo 36.93 mg L^{-1} de AIA.

Figura 1. *Bacterias que promueven fitohormonas*



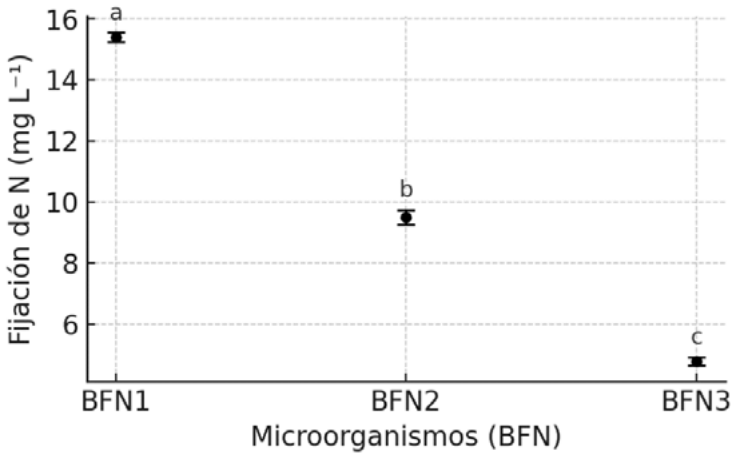
La bacteria BSP4 solubilizó la mayor cantidad de fósforo con una cantidad de 518.91 mg L^{-1}. Por otra parte, la bacteria que menos solubilizó fue la bacteria BSP6 (102.67 mg L^{-1}). Por otra parte, Sánchez et al. (2012) reportaron en un experimento en Colombia cepas con capacidad de solubilizar fosfatos con una solubilización entre 144 mg L^{-1} y 192.5 mg L^{-1}. Qiao et al. (2017) encontraron que las bacterias solubilizadoras de fósforo del suelo de la rizosfera del maíz podían disolver fósforo hasta 487.67 mg L^{-1}. Por otra parte, los aislados de la rizosfera de tomate de la región de Souss-Massa, Marruecos, mostraron una solubilización de fosfato de hasta 195.42 mg L^{-1} (Bakki et al., 2024).

Figura 2. *Bacterias solubilizadoras de fosfatos*



La bacteria BFN1 promovió la mayor fijación de nitrógeno con una cantidad de 15.4 μg N mL^{-1}, seguido de la bacteria BFN2 con una cantidad de 9.5 μg N mL^{-1} y, por último, la BFN3 promovió la mejor fijación de nitrógeno con una cantidad de 4.8 μg N mL^{-1}. Estos resultados coinciden con los reportados por E. da Silva et al. (2018), quienes reportaron cepas con la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en una escala de 9.35 a 46.82 μg N mL^{-1} en el cultivo de arroz de la región de Rio Grande del Sur, Brasil. Mantilla et al. (2007) en el municipio de San Carlos, Colombia, obtuvieron 14 aislados que produjeron concentraciones de 0.9 hasta 5.2 mg L^{-1} de N. Por otra parte, en la comunidad de Ambato, Ecuador, aislaron 26 cepas bacterianas, las cuales producen entre 20 y 30 mg L^{-1} (Quishpe et al., 2021).

Figura 3. *Bacterias fijadoras de nitrógeno*



Conclusiones

Las bacterias de la rizosfera del maíz son microorganismos multifuncionales que pueden influir positivamente en el desarrollo vegetal mediante distintos mecanismos bioquímicos. La cuantificación de estas capacidades proporciona una base sólida para futuras aplicaciones agrícolas, especialmente en sistemas de mínima labranza, donde la utilización de BPCV puede mejorar la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo de maíz de manera sostenible

Referencias

Bakki, M., Ait El Maati, A., Oufdou, K., y Filali-Maltouf, A. (2024). Phosphate solubilization and plant growth-promoting potential of rhizobacteria isolated from tomato rhizosphere in the Souss-Massa region, Morocco. Rhizosphere, 29, 100684.

Bric, J. M., Bostock, R. M., y Silverstone, S. E. (1991). Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. Applied and Environmental Microbiology, 57(2), 535–538.

da Silva, E., Amaral, M. B., Teixeira, K. R. dos S., y Baldani, V. L. D. (2018). Evaluation of diazotrophic bacteria from rice varieties (Oryza sativa L.) grown in Rio de Janeiro State, Brazil. African Journal of Agricultural Research, 13(42), 2351-2361.

González, A., y Aranda, E. (2025). Identification and production of indole-3-acetic acid by bacteria isolated from eco-enzymes. ResearchGate.

Haskett, T. L., Tkacz, A., Poole, P. S., y Ettema, T. J. G. (2021). Engineering rhizobacteria for sustainable agriculture. The ISME Journal, 15(4), 949–964. https://doi.org/10.1038/s41396-020-00835-4

Katiyar, D., Hemantaranjan, A., y Singh, B. (2016). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una herramienta eficaz para la promoción agrícola. Advances in Plants y Agriculture Research, 4, 426–434.

Lara, C., Sanes, S. C., y Oviedo, L. E. (2013). Impacto de bacterias nativas solubilizadoras de fosfato en el crecimiento y desarrollo de plantas de rábano (Raphanus sativus L.). Biotecnologia Aplicada, 30(4), 271–279.

Mantilla, C. L., Anaya, M. V., y Zumaqué, L. E. O. (2007). Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Revista Colombiana de Biotecnología, 9(2), 6–14.

Qiao, C. C., Wang, T. T., y Wang, R. F. (2017). Screening of high-efficiency phosphate-solubilizing bacteria and its growth promoting effect. J. Nanjing Agric. Univ., 40(4), 664-670.

Quishpe, M. F. P., Parra, M. M. G., García, M. E. M., y Arias, D. R. (2021). Evaluación agronómica de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de suelos andinos en plántulas de lechuga y tomate. Investigación Agraria, 23(1), 47–52.

Ratnaningsih, H. R., Noviana, Z., Dewi, T. K., Loekito, S., Wiyono, S.,

Gafur, A., y Antonius, S. (2023). Bacterias productoras de desaminasas IAA y ACC aisladas de la rizosfera de plantas de piña cultivadas bajo diferentes tipos de estrés abiótico y biótico. Heliyon, 9(6). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12345

Rodríguez-Gámez, O., Aguilera-Rodríguez, I., y Pérez-Silva, R. M. (2013). Adecuación de un micrométodo colorimétrico para la cuantificación de fósforo soluble en cultivos microbianos. Revista Cubana de Química, 25(1), 3-8.

Sánchez López, J. D., Gómez-Vargas, A., y Garrido Rubiano, J. E. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(7), 1401–1415.

SAS Institute Inc. (2002). The SAS system for windows version 9.0 SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA

Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., y Volkweiss, S. J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais. 5, 174. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Capítulo 4

Efecto de un bioestimulante sobre el estado hídrico y la respuesta fisiológica de *Vitis vinifera* L. CV. Sweet globe en la Costa de Hermosillo

Peralta Duarte Gonzalo[1]
Julio César Rodríguez[2]
Fidencio Cruz Bautista[5]
María Eugenia Rentería Martinez[5]
Jesús Villa Sauceda[4]

[1] Maestría en Sistema de Producción Agropecuaria. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México.
[2] Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México. julio.rodríguez@unison.mx.

Resumen

La variedad de uva de mesa Sweet Globe (SG) ha mostrado un alto potencial productivo en el noroeste de México. Sin embargo, su respuesta fisiológica bajo condiciones de alta radiación y temperaturas extremas aún está poco documentada. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un bioestimulante sobre el potencial hídrico foliar (Ψh), la conductancia estomática (gs) y la eficiencia fotosintética en comparación con un tratamiento testigo. El experimento se realizó en Viñas de la Costa, Hermosillo, Sonora, bajo un sistema de pérgola abierta y riego por goteo. Los resultados muestran que la aplicación del bioestimulante favoreció una mayor apertura estomática y un mejor mantenimiento del potencial hídrico bajo condiciones de alto déficit de presión de vapor (DPV), lo que permitió conservar una mayor eficiencia fotosintética. Estos hallazgos sugieren que el bioestimulante contribuye a mitigar los efectos del estrés hídrico y térmico, mejorando la fisiología del cultivar SG.

Introducción

La producción de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) es una de las principales actividades agrícolas en México, con Sonora como estado líder en superficie y exportaciones (SIAP, 2023). En la Costa de Hermosillo, la viticultura está limitada por radiación intensa, altas temperaturas y baja humedad, condiciones que elevan el déficit de presión de vapor (DPV) y generan estrés hídrico (Chaves, Flexas y Pinheiro, 2010; Gambetta et al., 2020). Ante el cambio climático, caracterizado por olas de calor más frecuentes y presión sobre los recursos hídricos (IPCC, 2021), se vuelve fundamental optimizar el uso del agua en vid mediante evaluaciones fisiológicas como el potencial hídrico (Ψh) y la conductancia estomática (gs) (Intrigliolo y Castel, 2006; Williams et al., 2012; Lovìsolo et al., 2010). El cultivar Sweet Globe, de reciente introducción en Sonora, destaca por su vigor, aunque su comportamiento fisiológico en la región aún es poco documentado.

El objetivo de este estudio fue evaluar su estado hídrico y fisiológico en campo para identificar diferencias en la respuesta al estrés y apoyar en un manejo agronómico más eficiente.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El estudio se realizó en el predio Viñas de la Costa, Costa de Hermosillo, Sonora, México (29.09° N, 110.93° W), con clima árido cálido. Temperaturas extremas: T < 2 °C y T > 40 °C en invierno y verano, respectivamente. Precipitación media anual (PMA) de 200 mm y concentrada en verano (70 %). Se instaló una torre para registrar las variables meteorológicas y apoyar la gestión del riego.

Cultivar y sistema de plantación

Se evaluó el cultivar Sweet Globe (IFG Ten), trasplantado en abril de 2023. Con marco de plantación 1.5 X 3.8 m, densidad de 1755 plantas ha^{-1}. Conducción de vides en pérgola abierta y riego por goteo (gotero a 0.5 m y gasto de 2.3 L h^{-1}).

Mediciones fisiológicas

Se utilizó un porómetro/fluorímetro LI600 (LI-COR, Lincoln NE, USA) y cámara de presión tipo Scholander (PMS 1000, Albany OR, USA). Variables medidas: conductancia estomática (gs), transpiración (E), déficit de presión de vapor (DPV), temperatura de hoja (Thoja), radiación fotosintéticamente activa (PAR), tasa de transporte de electrones (ETR), rendimiento cuántico máximo del PSII (Fm/Fv), rendimiento fotoquímico operacional del PSII (ϕ_{PSII}((Fm´-Fs)/Fm´) y potencial hídrico foliar (Ψh). Se muestrearon 10 plantas por tratamiento, con tres hojas por planta con el LI600, mientras que con la PMS1000, 5 plantas por tratamiento. Las mediciones se realizaron semanalmente entre las 7 a. m. y las 3 p. m. de marzo a la fecha. Ocasionalmente, se realizaron curvas de respuesta fotosintética a la luz.

Resultados y discusión

Relación entre DPV, gs y Ψh en Sweet Globe

La Figura 1 muestra la relación entre Ψh, gs y DPV en Sweet Globe. En el testigo, un DPV > 2.0 kPa redujo gs y generó valores de Ψh más negativos, reflejando priorización en la conservación de agua y menor fotosíntesis, tal como señalan Gambetta et al. (2020). En contraste, las plantas con bioestimulante mantuvieron gs más altos y Ψh más estable, coincidiendo con lo descrito por Hasanuzzaman et al. (2021) y Martínez-Lorente et al. (2024) sobre el papel de los bioestimulantes en favorecer la homeostasis hídrica.

Relación entre DPV, gs y T_hoja

La Figura 2 muestra la relación entre DPV, gs y T_hoja. En el testigo, altos valores de DPV redujeron la transpiración y elevaron T_hoja sobre 35 °C, nivel que compromete la eficiencia fotosintética (Gambetta et al., 2020; Cogato et al., 2022). En cambio, las plantas con bioestimulante mantuvieron gs más altos, lo que permitió un enfriamiento evaporativo más eficiente y temperaturas foliares estables. Este efecto concuerda con lo descrito por Hasanuzzaman et al. (2021) y Martínez-Lorente et al. (2024) sobre la capacidad de los bioestimulantes para modular la respuesta al estrés.

Respuesta fotosintética bajo diferentes niveles de radiación

La Figura 3 compara la fotosíntesis neta en función de la PAR. El testigo alcanzó un Amax bajo (≈12–13 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) y saturación temprana, reflejando limitada asimilación de carbono y mayor riesgo de fotoinhibición (Gambetta et al., 2020; Cogato et al., 2022). En contraste, las plantas con bioestimulante lograron un Amax superior (≈18–19 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) y desplazaron el punto de saturación a irradiancias más altas. Esto indica mayor capacidad de fijación de CO_2 bajo radiación elevada, como reportan Hasanuzzaman et al. (2021), Martínez-Lorente et al. (2024) y Patono et al. (2022).

Figura 1. *Relación entre DPV, gs y Ψh en plantas de SG: testigo (a) y bioestimulante (b).*

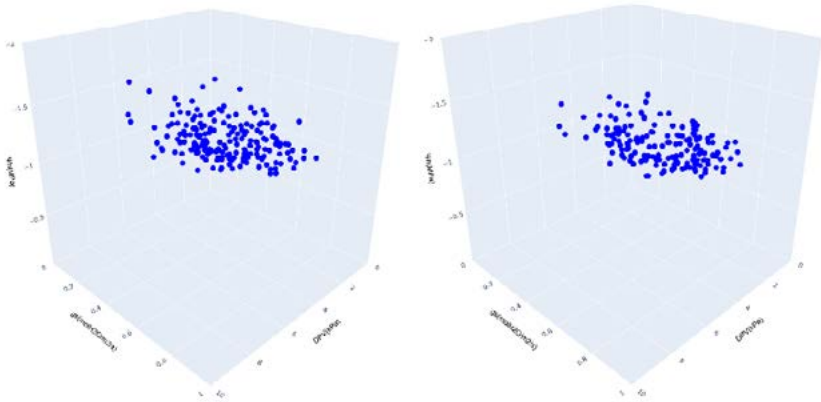
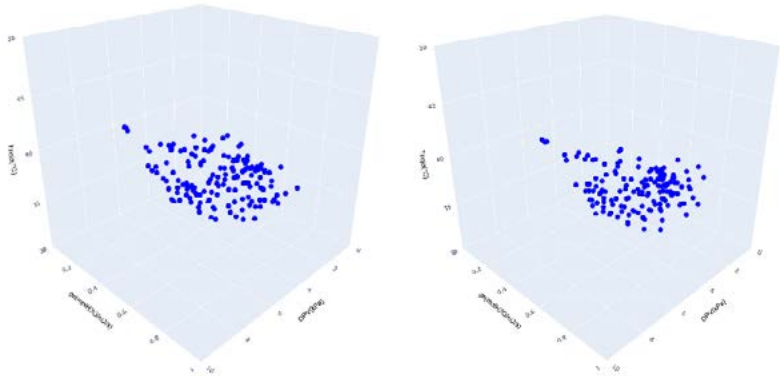


Figura 2. *Relación entre DPV, gs y T_hoja en plantas de SG, testigo (a) y bioestimulante (b).*

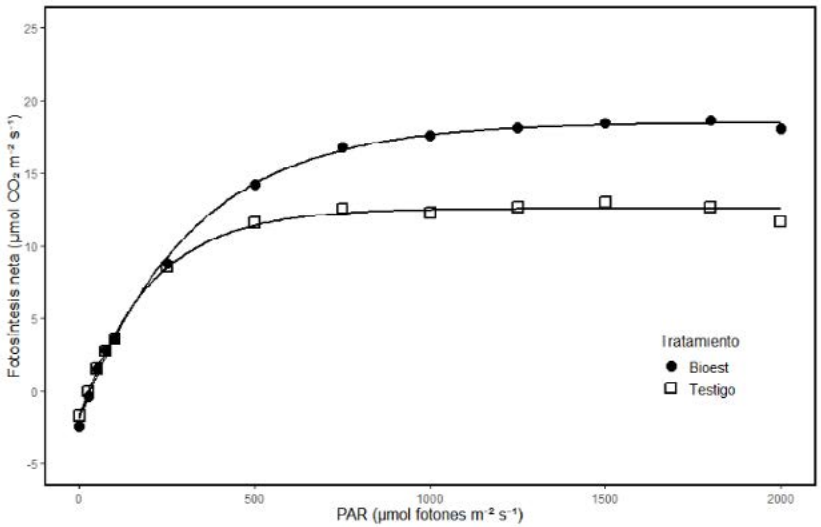


Conclusiones

La aplicación de bioestimulante en Sweet Globe mejoró la conductancia estomática (gs) y mantuvo un Ψh menos negativo, favoreciendo la homeostasis hídrica bajo altos valores de DPV. Además, permitió reducir la temperatura foliar mediante transpiración más eficiente y sostener mayores tasas de fotosíntesis neta, con un Amax superior y mayor asimilación de CO_2 bajo alta radiación. Entonces, el bioestimulante puede ser una herramienta eficaz para mitigar el estrés hídrico y térmico, optimizando la eficiencia fisiológica, productividad y resiliencia del cultivo en la Costa de

Hermosillo.

Figura 3. *Fotosíntesis neta (A) en función de la PAR en plantas de SG bajo tratamientos de testigo y bioestimulante.*



Referencias

Chaves, M. M., Flexas, J., y Pinheiro, C. (2010). *Grapevine under deficit irrigation: Hints from physiological and molecular data*. Annals of Botany, 105(5), 661–676. https://doi.org/10.1093/aob/mcq030

Cogato, A., Jewan, S. Y. Y., Wu, L., Marinello, F., Meggio, F., y Sozzi, M. (2022). *Water stress impacts on grapevines (Vitis vinifera L.) in hot environments: Physiological and spectral responses*. Agronomy, 12(8). https://doi.org/10.3390/agronomy12081819

Gambetta, G. A., Martínez De Toda, F., Alonso, M., et al. (2020). *The physiology of drought stress in grapevine*. International Journal of Molecular Sciences, 21(12). https://doi.org/10.3390/ijms21124014

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Bhowmik, P. C., Hossain, M. S., Rahman, M. M., y Fujita, M. (2021). *Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress*. Antioxidants, 10(2). https://doi.org/10.3390/antiox10020243

Intrigliolo, D. S., y Castel, J. R. (2006). *Vine and berry response to deficit irri-*

gation in Tempranillo grapevine. Agricultural Water Management, 83(1–2), 113–125. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.002

Lovìsolo, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., y Schubert, A. (2010). *Grapevine adaptations to water stress: New perspectives about soil/plant interactions*. Functional Plant Biology, 37(2), 98–116. https://doi.org/10.1071/FP09191

Martínez-Lorente, S. E., He, Y., Bresó, S., et al. (2024). *Higher plant-derived biostimulants: Mechanisms of action and their role in mitigating plant abiotic stress*. Plants, 13(6). https://doi.org/10.3390/plants13061105

Patono, D. L., Belmonte, M. F., y Parker, A. M. (2022). P*hotosynthetic recovery in drought-rehydrated grapevines is associated with high demand from the sinks, maximizing fruit-oriented performance*. Plants, 11(12). https://doi.org/10.3390/plants11121709

SIAP. (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.gob.mx/siap

Williams, L. E., Baeza, P., y Vaughn, P. (2012). *Midday measurements of leaf water potential and stomatal conductance are highly correlated with daily water use of Thompson Seedless grapevines*. Irrigation Science, 30(3), 201–212. https://doi.org/10.1007/s00271-011-0276-2

Capítulo 5

Lechuga hidropónica con relaciones nitrato-urea y concentraciones de níquel con luz artificial

Lara Murrieta Praxedes[1]
Angulo Castro Azareel[2]
Armenta Ayala José Oscar[7]
Ayala Tafoya Felipe[7]
Cazarez Flores Luz Llarely[7]
Cruz Bojorquez Jesús Enrique[7]
Tucuch Haas Cesar Jacier[3]

[1] praxedeslara@uas.edu.mx.
[2] Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa.
[3] Tecnológico Nacional de México/ITS del Sur del Estado de Yucatán.

Resumen

La lechuga es un alimento esencial en la salud digestiva y se consume a nivel mundial. Es importante que las hojas de lechuga que se consumen en fresco tengan una alta calidad nutrimental, lo que impacta el contenido de nitratos. Se conoce que este elemento está relacionado con enfermedades estomacales; el más importante es el cáncer estomacal, que surge cuando se excede la cantidad diaria permitida. Existe poca información sobre una disminución del contenido de nitrato e incremento de urea en la solución nutritiva y la adición de níquel, acondicionados en cámaras con luz LED. Por ello se realizó el experimento en la Facultad de Agronomía Culiacán, Sinaloa. Para determinar la interacción de tres relaciones nitratos/urea (100/0, 85/15 y 70/30) y cuatro concentraciones de níquel (0,1,2,3 mg L^{-1}) en condición de luz LED sobre el contenido de nitrato, calcio y níquel en hojas de lechuga hidropónica. La utilización de urea en la solución nutritiva tuvo un efecto significativo al reducir el contenido de nitratos y no mostrar efectos significativos en potasio al incrementar las concentraciones de urea, ya que tiene carga neutra.

Introducción

La lechuga (Lactuca sativa L.) es la hortaliza que tiene gran demanda en el mundo gracias a sus beneficios alimenticios, formas de consumo humano y altas cantidades sembradas (Díaz, 2024). Uno de los elementos principales en la nutrición de esta hortaliza de hoja es el nitrógeno. Se conoce que en la mayoría de las plantas tiene la capacidad de ser absorbido en diferentes formas: aniónica (NO_3^-), catiónica (NH_4^+) y como UREA (Lara Izaguirre et al., 2019). Sin embargo, en cultivos hidropónicos se tiene que tomar en cuenta la concentración de NH_4^+, ya que suministrado en exceso no puede ser almacenado y causa toxicidad si no es convertido rápidamente en compuestos orgánicos (Lara et al., 2018). El uso solamente de

nitratos en la solución nutritiva como fuente de nitrógeno, puede causar acumulación de NO_3^- en el tejido vegetal de lechugas que son consumidas en fresco, debido a que se reduce a nitrito y compuestos nitrosos, los cuales pueden ser carcinógenos cuando se acumulan en el estómago (Rueda et al., 2015). La fuente de nitrógeno conocida como urea es una de las más empleadas en la producción de plantas. El uso potencial de la urea como sustituto de los fertilizantes nítricos en hidroponía podría reducir la acumulación excesiva de nitratos en órganos de las plantas y reducir los costos de producción (Morales-Morales et al., 2019), ya que la urea es un fertilizante más barato que los fertilizantes nítricos o amoniacales; no obstante, rara vez se usa en sistemas hidropónicos debido a la escasa investigación y la utilización de dicha fuente. Por otra parte, es necesario suplementar níquel a la planta para una mejor hidrolización de la urea (Muñiz et al., 2015). Con respecto a la luz LED, se obtiene una eficiencia energética; su baja emisión de calor previene quemaduras, pero cuenta con la capacidad de complementar o reemplazar la luz solar, permitiendo el cultivo durante todo el año y en cualquier condición (Loconsole et al., 2019). El objetivo de este trabajo fue conocer el efecto de relaciones nitrato-urea y concentraciones de níquel en la solución nutritiva con condiciones de luz LED sobre la calidad en hojas de lechuga hidropónica.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. Se utilizaron plantas de lechuga orejona (MAXIMUS RZ). En el trabajo de investigación se utilizaron tres cámaras de crecimiento de 1.94 m^3 de espacio útil con condiciones de temperatura controlada de 22-24 °C, humedad relativa de 60-80 % y dióxido de carbono ambiental.

Cuadro 1. *Diseño de los tratamientos*

TRATAMIENTO	[1]PPFD	[2]RELACIÓN Nitrato / urea	[3]NIQUEL
1	300	100/0	0
2	300	100/0	1
3	300	100/0	2
4	300	100/0	3
5	300	85/15	0
6	300	85/15	1
7	300	85/15	2
8	300	85/15	3
9	300	70/30	0
10	300	70/30	1
11	300	70/30	2
12	300	70/30	3

[1]PPFD = Densidad de flujo de fotones fotosintéticos, [2]Relación nitrato/urea = (NO_3-/ $CO[NH_2]_2$), [3]Níquel= Ni^{+2} (mg L^{-1}).

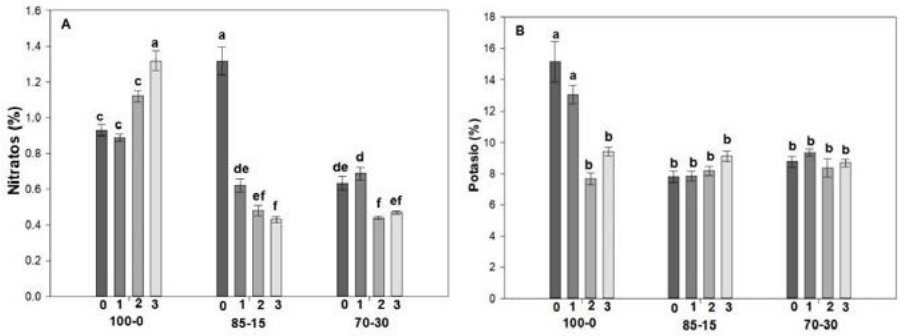
La iluminación fue proporcionada por tubos transparentes de LEDs blancos con una intensidad de 300 µmol·m-2 s-1 encendidos 15 horas diarias. El trasplante se realizó el 9 de febrero de 2024. La solución nutritiva se renovó cada siete días, se ajustó el pH entre 5.5 y 6.5 con H2SO4 y se colocaron bombas de aire para permitir la entrada de oxígeno. Las soluciones nutritivas se prepararon con sales inorgánicas hidrosolubles y agua. El periodo de cosecha inició a los 37 días después del trasplante. El potasio (K) y el níquel se determinaron por espectrometría de absorción atómica (Analyst 200, Perkin Elmer, E.U.A.), según Rodríguez y Rodríguez (2015). Para potasio (K) se utilizaron extractos provenientes de digestión seca, conforme a las metodologías propuestas por Motsara y Roy (2008). El contenido de nitratos se determinó por el método de Cataldo descrito por Alcántar y Sandoval (1999). El diseño experimental utilizado fue un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 3x4, resultando con doce tratamientos y seis repeticiones (Cuadro 1). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica (Statsoft, 2004).

Resultados y discusión

La relación nitrato/urea afectó significativamente ($P \leq 0.05$) el contenido nutrimental de nitratos en hojas de lechuga. Como se puede observar en la gráfica (Figura 1A), con la relación 100-0, se obtuvo un mayor contenido de nitratos y se aumenta a una mayor concentración de níquel (mg L^{-1}). Este resultado concuerda con Aguilar et al. (2001), quienes refieren que en trigo fue consecuencia de la inhibición de la absorción de nitratos y de la actividad nitrato reductasa por el ion Ni^{2+}. Pero disminuye un 54,1 % al aumentar la concentración de urea y disminuir los contenidos de nitratos, esto debido a una menor acumulación debido a la reducción en proporción de este elemento en la solución nutritiva.

En contraste, en la relación nitrato-urea (100-0) se puede observar que, al aumentar la concentración de níquel en la solución nutritiva, se reduce el contenido de potasio en hoja (Figura 1B). Esto se debe a las diferentes cargas iónicas, lo que da como resultado una mayor concentración de potasio. Pero no tiene una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) al disminuir el contenido de nitrato e incorporar urea en la solución nutritiva, debido a la disminución de nitratos y carga neutra de urea en la solución nutritiva (Herrera, 1999).

Figura 1. *Efecto de la interacción entre la relación nitrato/urea (100/0, 85/15 y 70/30) sobre los contenidos de Nitratos (A) y Potasio en hojas (B). Medias ± error estándar con letras idénticas en cada gráfica son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05).*



Conclusiones

Al incrementar la urea y disminuir la concentración de nitratos en la solución nutritiva, se tuvo una reducción significativa en las concentraciones de nitrato en hojas de lechuga hidropónica. En cuanto al contenido de potasio, no se obtuvo variación importante en hojas. Por ello, el uso de urea en soluciones nutritivas es una alternativa viable para disminuir el aporte de nitrato en la misma, sin afectar el contenido nutrimental en hojas de lechuga hidropónica.

Referencias

Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal: guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 156.

Aguilar, I. D., Saavedra, M. L., González, G. A., Alarcón, A. V., Cossio, F. G., y González, R. C. (2001). *Acumulaciones tóxicas de níquel en el crecimiento y la nutrición de trigo.* Terra Latinoamericana, 19(3), 199-209.

Díaz, L. J. Á. (2024). *Producción de lechuga por el método hidropónico: evaluación económica y perspectivas*. Año 2023. Ciencias Económicas ISSN-2788-6425, 5(9), 33-44.

Herrera, A. L. (1999). *Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía.* Terra latinoamericana, 17(3), 221-229.

Loconsole, D., Cocetta, G., Santoro, P. and Ferrante, A. (2019). *Optimization of LED lighting and quality evaluation of Romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system.* Sustainability 11(3), 841. https://doi.org/10.3390/su11030841.

Lara Viveros, F. M; Landero Valenzuela, N; Aguado Rodríguez, G. J; Ehsan, M., Moreno Hernández, V. y Ventura Maza, A. (2018). *Utilización del ion amonio en el desarrollo de plántulas de estevia (Stevia rebaudiana) en condiones de hidroponía.* Interciencia, 43(2), 106-110. https://www.redalyc.org/journal/339/33956916007/33 956916007.pdf.

Lara-Izaguirre, A., Rojas-Velázquez, A. N., Romero-Méndez, M. J., Ramírez-Tobías, H. M., Cruz-Crespo, E., Alcalá-Jáuregui, J. A., y Loredo-Ostí, C. (2019). *Crecimiento y acumulación de NO3- en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo.* Revista Fitotecnia Mexicana 42(1), 21-29. https://doi.org/10.35196/rfm.2019.1.21.

Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, Á. R., y Morales-Rosales, E. J. (2019). *Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales.* Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(8), 1875-1886.

Motsara, M. R. and Roy, R. N. (2008). *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis.* FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 220.

Muñiz Ugarte, O, Rodríguez Alfaro, M., Montero Álvarez, A., Estévez Álvarez, J., de Aguiar Accioly, A. M. y Araujo Do Nascimento, C. W. (2015). *El níquel en suelos y plantas de Cuba.* Cultivos Tropicales, 36, 25-33.

Rodríguez, F. H. y Rodríguez, A. J. (2015). *Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación.* Editorial Trillas. 288.

Rueda, V. P., Duque, P. A. y Ariza, L. O. (2015). *Adenocarcinoma gastrico en paciente con exposición constante a nitratos y nitratos en su alimentación.* Revista salud, historia y sanidad., 10(2), 58-66.

StatSoft, inc. (2004). *STATISTICA (data analysis software system)*, version 7. www.statsoft.com.

Capítulo **6**

Efectos del déficit hídrico sobre pigmentos fotosintéticos e índices ópticos en *Capsicum chinense* bajo condiciones de invernadero en el Valle de Mexicali

López Esquer Axel Obed[1]
Daniel González Mendoza[1]
Joya Dávila José Gregorio[1*]
Miguel Alejandro Cabrera Cruz[1]
Serrano Gómez Leslie Alondra[2]
Salazar Navarro Alexis[1]
Tzintzun Camacho Olivia[1]
Durán Hernández Dagoberto[1]
Ail Catzim Carlos Enrique[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera. Delta Oaxaca s/n C.P. 21705. jose.joya@uabc.mx.
[2] Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez.

Resumen

El estrés hídrico es uno de los principales factores limitantes para la productividad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), cultivo de gran relevancia económica y cultural en México. La evaluación precisa del estado fisiológico de las plantas durante periodos de déficit hídrico es fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo que optimicen el rendimiento y la calidad del cultivo. En este estudio, se compararon tres métodos para la cuantificación de pigmentos fotosintéticos y la evaluación del vigor vegetal: extracción espectrofotométrica de clorofila a, b y carotenoides, medición no destructiva mediante medidor SPAD y el índice NDVI obtenido con el sensor GreenSeeker. Los análisis se realizaron durante la fase de floración bajo condiciones de campo en suelo directo, con un tratamiento de riego continuo y otro con suspensión de riego. Los resultados mostraron una reducción significativa del 35 % en clorofila a y 39 % en clorofila b en plantas sometidas a estrés hídrico, mientras que los carotenoides permanecieron relativamente estables. El índice NDVI reflejó fielmente la disminución del vigor y contenido pigmentario, mostrando mayor sensibilidad que el SPAD para detectar el estrés. Estos hallazgos demuestran la utilidad de combinar métodos destructivos y no destructivos para un monitoreo efectivo del estado fisiológico del chile habanero, contribuyendo al manejo sustentable en regiones áridas como el Valle de Mexicali.

Introducción

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es un cultivo de significativo valor agroalimentario y cultural en América Latina, cuya productividad se ve frecuentemente afectada por el estrés hídrico, especialmente en regiones áridas como el Valle de Mexicali. Este tipo de estrés puede alterar funciones fisiológicas críticas del cultivo, incluyendo la actividad fotosintética, la retención foliar y la síntesis de pigmentos esenciales. En estos escenarios,

los pigmentos fotosintéticos como clorofila y carotenoides son indicadores clave del estado fisiológico de la planta, ya que su abundancia permite evaluar el impacto del estrés sobre el aparato fotosintético y la respuesta adaptativa del cultivo. La determinación de estos pigmentos mediante espectrofotometría UV–Vis es reconocida por su precisión y fiabilidad (Inskeep y Bloom, 1985; Biehler et al., 2010). No obstante, las técnicas no destructivas como los sensores portátiles SPAD y GreenSeeker ofrecen ventajas como rapidez, bajo costo y monitoreo en tiempo real, lo cual es muy valioso en contextos de campo (Ling et al., 2011).

Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del estrés hídrico en chile habanero variedad "Megalodón" en etapa de floración, combinando métodos destructivos (espectrofotometría) con técnicas no destructivas (SPAD y NDVI), bajo condiciones de campo en suelo directo del Valle de Mexicali.

Materiales y métodos

El experimento se estableció durante la fase de floración del cultivo de Capsicum chinense Jacq, variedad "Megalodón", cultivado en suelo directo bajo condiciones de campo en la región del Valle de Mexicali. Para el estudio del estrés hídrico se establecieron dos tratamientos fisiológicos: 1) tratamiento sin estrés (SE), con riegos regulares aplicados tres veces por semana, ajustando el volumen de agua según el monitoreo manual de humedad del suelo; y un 2) tratamiento con estrés hídrico (CE), consistente en la suspensión total del riego durante 28 días. Se realizaron dos evaluaciones principales: al inicio del experimento (día 0), antes de iniciar la suspensión de riego, y al día 28, momento en que las plantas sometidas al déficit comenzaron a mostrar síntomas visibles de estrés, como la caída de hojas.

Para estimar los pigmentos fotosintéticos y parámetros fisiológicos, se compararon tres métodos. Se utilizaron 50 mg de tejido foliar fresco, macerado en 2 mL de acetona al 80 % (v/v). Las muestras fueron centrifugadas, y el sobrenadante se analizó mediante espectrofotometría UV-Vis; las absorbancias se midieron a 664 nm (clorofila a), 647 nm (clorofila b) y 450 nm (carotenoides totales), de acuerdo con Inskeep y Bloom (1985) y Biehler et al. (2010). Se realizaron mediciones directas en hojas com-

pletamente expandidas utilizando un medidor portátil SPAD, obteniendo valores relativos del contenido de clorofila. Se tomaron lecturas de tres puntos por hoja, siguiendo la metodología de Ling et al. (2011). Se utilizó el sensor GreenSeeker™, que mide el índice de vegetación NDVI, estimando el vigor con base en la reflectancia del dosel vegetal. Las lecturas se realizaron sobre la parte media de cada planta, manteniendo una distancia constante y condiciones de iluminación similares, de acuerdo con Singh y Singh (2022). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y prueba t de Student con un nivel de significancia de $P < 0.05$, utilizando el software Statgraphics Centurion XVI.

Resultados y discusión

En la medición correspondiente al día 0, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (CE y SE) para ninguna de las variables evaluadas, lo cual indica condiciones homogéneas iniciales tanto en la concentración de pigmentos fotosintéticos como en los índices ópticos SPAD y NDVI. Sin embargo, al día 28, momento crítico en el cual las plantas CE comenzaron a mostrar signos de marchitamiento y pérdida foliar, se observó una reducción significativa en el contenido de clorofila (Chl) en las plantas con estrés (Cuadro 1). Específicamente, la Chl a presentó una disminución del 35 % y la Chl b del 39 % en comparación con las plantas sin estrés. Estos resultados indican una afectación directa en los componentes del sistema fotosintético, en concordancia con estudios previos que vinculan el déficit hídrico con la degradación de clorofilas (Zhang, 2023). En contraste, los niveles de carotenoides no mostraron diferencias estadísticamente significativas, lo cual sugiere una mayor estabilidad de estos compuestos frente al estrés hídrico, posiblemente por su papel protector frente a especies reactivas de oxígeno (ROS) (Zhang et al., 2024).

Cuadro 1. *Valores medios de índices ópticos y contenido de clorofila en hojas de chile habanero bajo estrés hídrico prolongado.*

Tratamiento	Chl a	Chl b	Carotenoides	SPAD	GreenSeeker
0 CE	47.75 ± 3.820 a	20.29 ± 1.109 a	18.32 ± 3.248 a	58.22 ± 8.00 a	0.74 ± 0.013a*
0 SE	47.04 ± 1.593 a	19.57 ± 1.517 a	17.09 ± 2.467 a	54.94 ± 4.80 a	0.74 ± 0.005a
28 CE	61.81 ± 6.708 b*	21.08 ± 4.449 b*	20.95 ± 3.615 a	54.70 ± 2.76 a	0.63 ± 0.626 b
28 SE	93.87 ± 5.633 a*	34.42 ± 4.213 a*	29.98 ± 4.918 a*	56.22 ± 3.52 a	0.76 ± 0.757 a*

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre condiciones. *Indican diferencia estadística significativa entre días de estrés

Respecto a los índices ópticos, el sensor SPAD no detectó diferencias significativas entre tratamientos al día 28. Sin embargo, el GreenSeeker mostró valores significativamente menores en las plantas con estrés, con un NDVI promedio por debajo de 0.7, lo que sugiere una reducción de la biomasa activa y el contenido de clorofila, tal como lo indican otros autores (Ramjattan y Umaharan, 2011). El índice NDVI obtenido mediante el sensor GreenSeeker mostró una disminución significativa bajo condiciones de estrés hídrico, correlacionándose positivamente con la reducción en el contenido de pigmentos fotosintéticos, lo que indica que valores menores de NDVI reflejan una menor densidad y vigor del follaje, como han reportado Gitelson et al. (2003) y Haboudane et al. (2004). En contraste, el índice SPAD podría no ser suficiente como único indicador, especialmente cuando la degradación de clorofila no alcanza niveles muy severos.

Conclusiones

El estrés hídrico prolongado en chile habanero 'Megalodón' reduce significativamente el contenido de Chl a y b, mientras que los carotenoides permanecen relativamente estables. El sensor GreenSeeker, mediante NDVI, demostró alta sensibilidad para detectar estrés hídrico fisiológico, mientras que el índice SPAD requirió combinaciones metodológicas para lograr

diagnósticos más robustos. La espectrofotometría UV-Vis sigue siendo el método de referencia para validar estos índices.

Referencias

Biehler, E., Mayer, F., Hoffmann, L., Krause, E., y Bohn, T. (2010). *Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables*. Journal of food science, 75(1), C55-C61.

Inskeep, W. P., y Bloom, P. R. (1985). *Extinction Coefficients of Chlorophyll a and b in N,N -Dimethylformamide and 80 % Acetone*. Plant Physiology, 77(2), 483–485.

Singh, J., y Singh, V. (2022). *Efficient management of fertilizer nitrogen in spring maize using SPAD chlorophyll meter and GreenSeeker optical sensor*. Agricultural Research Journal, 59(5).

Ramjattan, R., y Umaharan, P. (2021). *Interrelationships between yield and its components in hot pepper (Capsicum chinense Jacq.)*. Scientia Horticulturae, 287, 110254.

Zhang, K., Li, W., Li, H., Luo, Y., Li, Z., Wang, X., y Chen, X. (2023). *A leaf-patchable reflectance meter for in situ continuous monitoring of chlorophyll content*. Advanced Science, 10(35), 2305552.

Zhang, X., Ma, X., Wang, S., Liu, S., y Shi, S. (2024). *Physiological and genetic aspects of resistance to abiotic stresses in Capsicum Species*. Plants, 13(21), 3013.

Gitelson, A. A., Gritz, Y., y Merzlyak, M. N. (2003). *Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves*. Journal of plant physiology, 160(3), 271-282.

Ling, Q., Huang, W., y Jarvis, P. (2011). *Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in Arabidopsis thaliana*. Photosynthesis research, 107(2), 209-214. https://doi.org/10.1007/s11120-010-9606-0

Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., y Chivkunova, O. B. (2001). *Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves*. Photochemistry and photobiology, 74(1), 38-45. https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0740038OPANEO2.0.CO2

Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., y Strachan, I. B. (2004). *Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture*. Remote sensing of environment, 90(3), 337-352. https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013

Capítulo 7

Bacterias solubilizadoras de fósforo y antagonistas de *Lasiodiplodia* SP., fitopatógeno del cultivo de arándano

Valenzuela Cuadras Edgar[1]
González Mendoza Daniel[2]
González Molotla Iris Alejandrina[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[1]
Rábago Zavala Karen[1]
Armenta Medina Alma[3]
López Valenzuela Blanca Elvira[1*]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Av. Japaraqui y Calle 16, s/n, Juan José Ríos, Sinaloa, México. CP. 81110.* blancalopezvzla@favf.mx.
[2] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Carretera a Delta, Ejido Nuevo León s/n, Baja California, México. CP. 21705.
[3] Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Blvd. de la Biodiversidad 400, Jalisco, México. CP. 47600.

Resumen

En este trabajo se aislaron bacterias benéficas del género *Bacillus* sp. pertenecientes a la rizosfera de diversos cultivos agrícolas en la zona norte de Sinaloa, más específicamente, en los municipios de Ahome, El Fuerte y Guasave, obteniéndose un total de 27 aislados. Asimismo, en dos lotes agrícolas de productores cooperantes (Lote 1: El Fuerte y Lote 2: Guasave), se obtuvieron nueve aislados de *Lasiodiplodia* sp., agente causal de daño en tallos (muerte regresiva) en el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). Los ensayos se realizaron *in vitro*. Con 27 aislados de *Bacillus* sp., solo 12 fueron seleccionados por su capacidad antagónica (Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Micelar = PICM) al presentar el mayor halo de inhibición contra los nueve aislados de *Lasiodiplodia* sp. Adicionalmente, a los 12 aislados de *Bacillus* sp. se analizó el índice de solubilización de fósforo (IS) en medio de cultivo *Pikovskaya*. Ambos ensayos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. El mayor IS lo mostró el aislado FAVFB9, y el mayor PICM el aislado FAVFB6, presentando diferencia significativa en el resto de aislados.

Introducción

Sinaloa se encuentra dentro de los cinco estados con mayor producción de arándano en el país, colocándose en la posición número dos con un volumen de 26 286.65 toneladas, con un rendimiento de 13.35 ton/ha, solo por debajo de Jalisco (DGSIAP, 2024).

De acuerdo con Sudhansu (1998), existen bacterias capaces de transformar el fósforo de formas insolubles a solubles mediante reacciones enzimáticas, lo que lo hace disponible para la necesidad de la planta. Por su parte, Oliveira et al. (2009) describieron que algunas bacterias pueden cumplir con la función de biofertilizante al suelo y cumplen con mecanismos de la transformación del fósforo, representando una alternativa para

el productor al no usar fertilizantes químicos, por lo que tiene la capacidad de poner a disposición para las plantas este elemento tan esencial. Asimismo, se utilizan microorganismos como antagonistas al tener la capacidad de inhibir el crecimiento y ejercer un efecto de control biológico sobre diferentes patógenos de interés, lo que provoca un daño en la producción de cultivos (De Costa y Erabadupitiya, 2005).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es el aislamiento de bacterias con la capacidad de solubilizar el fósforo y conocer su capacidad antagónica ante el *Lasiodiplodia* sp. en el cultivo de arándano. Esto tiene como finalidad llevar a cabo una agricultura más sustentable al utilizar menor cantidad de fertilizantes químicos que solo degradan los suelos y hacen que los nutrientes esenciales para las plantas sean de manera no asimilable.

Materiales y métodos

Se realizó el aislamiento de bacterias del género *Bacillus* a partir de 27 sitios de muestreo del norte de Sinaloa, correspondientes a los municipios de Ahome, El Fuerte y Guasave. Se recolectaron 200 g de suelo que se tamizó y se colocó 1 g en solución salina al 0.85 %, realizando 4 diluciones para ser pasteurizadas a 80 °C. Posteriormente, se colocó en una infusión de papa y se pasteurizó nuevamente a 80 °C por 15 minutos. Se realizó un estriado en caja Petri con medio de cultivo Agar Nutritivo (BIOXON), colocándose en incubación durante 24 horas, para después ser resembrado en una nueva caja con el mismo medio (Ohaba y Aizawa, 1986).

Se preparó medio de cultivo Pikovskaya (HIMEDIA® // M520-500G), al cual se le agregaron 31.3 g a 1000 mL de agua destilada y se calentó hasta disolver el medio, el cual se pasó a esterilizar a 121°C por 15 minutos en autoclave. Después fue vaciado en cajas de Petri. Posteriormente, con el medio sólido, se llevó a cabo la reactivación de las bacterias agregando 20 μL de solución, lo cual se realizó por triplicado. Para medir el índice de solubilización (IS), se colocaron las muestras en incubación a 28 °C durante tres días para realizar la medición de su halo con un calibrador vernier analógico 6" TRUPER. Se realizaron dos mediciones a 48 y 72 horas después de ser sembradas en el medio. Se tomó en cuenta el halo de diferenciación de color del medio y se reportaron los resultados en mm. Para medir el IS se utilizó la fórmula reportada por Soto (2022).

Se realizó el aislamiento de Lasiodiplodia sp. en el cultivo de arándano, las cuales se obtuvieron de dos lotes de productores cooperantes de la zona norte de Sinaloa, donde se aislaron nueve cepas de plantas con sintomatología de daño en tallos (muerte descendente). Se preservaron para realizar la confrontación in vitro ante 12 aislados de Bacillus. En el centro de la caja con medio de cultivo PDA se colocó un disco de 5 mm del fitopatógeno. Posteriormente, en cada extremo de la caja se colocaron 20 µL con caldo nutritivo y bacteria activa. Se realizaron cuatro repeticiones, un total de 108 UE (caja Petri), en un diseño completamente al azar, colocándose en incubación a 28 °C, en las cuales se seleccionaron las bacterias que mayor halo de inhibición en mm. Para el análisis estadístico se realizó un ANDEVA con una ($p \geq 0.05$) comparación de Tukey en el programa Infostat.

Resultados y discusión

Respecto a Bacillus, se compararon los diámetros del halo de solubilización y de los 27 aislados se seleccionaron 12 bacterias que presentaron medidas de halo con mayor diferencia significativa, evaluadas en el medio Pikovskaya, tomando lectura a las 72 h. El índice de solubilización más alto fue el aislado FAVFB9 con un diámetro de 3.17 mm, y FAVFB12 con el menor valor (2.0 mm) (Cuadro 1). Estos datos coinciden con los resultados de Soto y Alcarraz (2022), quienes realizaron pruebas de IS con 15 cepas de Bacillus nativas de Perú y se obtuvieron rangos de 3.48 a 7.74 mm; sin embargo, utilizaron tres medios selectivos para IS, de los cuales el mejor resultado fue el medio de cultivo MRS. Aun así, los datos reportados coinciden con los nuestros obtenidos en medio Pikovskaya con un rango mayor de IS de 0.77 mm.

Cuadro 1. *Índice de solubilización de fosforo (IS) de los aislados de Bacillus spp. en medio Pikovskaya*

Aislados de Bacillus sp.	**IS**
TESTIGO	0.00 [a]
FAFVB3	2.56 [ab]
FAVFB1	2.63 [ab]
FAVFB7	2.66 [abc]
FAVFB6	2.74 [abcd]
FAVFB5	2.76 [abcde]
FAVFB4	2.76 [abcde]
FAVFB8	2.76 [acde]
FAVFB10	2.96 [cde]
FAVFB11	3.05 [de]
FAVFB2	3.11 [de]
FAVFB9	3.17 [e]

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes Kruskal Wallis ($p \leq 0.05$).

De acuerdo con los resultados, el aislado con mayor antagonismo ante los nueve aislados de *Lasiodiplodia* sp. en confrontación dual fue el aislado FAVFB6 (que tiene similitud con FAVFB5 y FAVFB2). Este hallazgo coincide con lo reportado por Ríos et al. (2016), donde el antagonismo presentado por las diferentes cepas de *Bacillus* se atribuye al efecto de la alta capacidad de estas especies para inhibir el crecimiento de diversos hongos fitopatógenos. Esto gracias a la producción de antibióticos y compuestos volátiles pertenecientes a las familias de iturinas y subtilinas, lo que tiene efecto sobre la pared celular de los hongos. Sin embargo, las de menor capacidad antagónica fueron las cepas FAVFB1 y FAVFB4, teniendo similitud con el testigo (Cuadro 2).

Cuadro 2. *Capacidad antagónica de Bacillus spp. ante Lasiodiplodia sp.*

Aislados de Bacillus	**Aislados de Lasiodiplodia sp.**								
	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6	LA7	LA8	LA9
FAVFB1	40 c	40 d	40 b	35.80 b	37.25 b	16.16 ab	23.74 a	29.20 b	18.36 a
FAVFB2	24.28 ab	24.82 abc	23.22 a	23.85 ab	25.92 ab	10.51 a	19.48 a	23.63 ab	16.73 a
FAVFB3	26.93 ab	25.35 abc	25.74 a	35.26 ab	35.37 ab	13.19 ab	21.42 a	26.64 ab	15.33 a
FAVFB4	40 c	40 d	40 b	27.94 ab	27.37 ab	40 c	24.30 a	25.61 ab	40 b
FAVFB5	25.18 ab	23.18 ab	25.62 a	17.94 a	19.13 a	17.48 ab	23.14 a	24.55 ab	15.85 a
FAVFB6	19.30 a	22.88 a	20.86 a	27.89 ab	28.60 ab	10.08 a	18.06 a	20.74 a	13.09 a
FAVFB7	40 c	40 d	35.01 b	24.60 ab	25.62 ab	16.90 ab	22.12 a	40 c	19.14 a
FAVFB8	23.81 ab	24.45 abc	24.13 a	26.25 ab	24.06 ab	16.58 ab	19.34 a	23.24 ab	14.13 a
FAVFB9	26.86 ab	26.12 abc	25.79 a	25.78 ab	25.64 ab	18.32 b	19.14 a	25.18 ab	18.61 a
FAVFB10	24.32 ab	26.98 c	25.59 a	28.38 ab	26.87 ab	18.39 b	23.54 a	24.99 ab	12.87 a
FAVFB11	31.11 bc	26.36 bc	25.79 a	31.07 ab	27.96 ab	15.67 ab	22.17 a	30.64 b	20.12 a
TESTIGO	40 c	40 d	40 b	40 b	40 b	40 c	40 b	40 c	40 b

Medidas con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

Los aislados de *Bacillus* sp. que mostraron mayor índice de solubilización de fósforo (IS) y mayor antagonismo ante *Lasiodiplodia* sp. fueron 12 de los 27 totales. La cepa FAVFB9 presentó el mayor rango de IS con un rango de 3.17. Sin embargo, las que mostraron mayor capacidad para inhibir el crecimiento del fitopatógeno fueron las cepas FAVFB6, FAVFB5 y FAVFB2 en comparación con FAVFB1 y FAVFB4, las cuales son muy similares al testigo. Estas son bacterias candidatas a evaluaciones en campo, ya que pueden actuar como promotoras de crecimiento y antagonistas en suelos agrícolas.

Referencias

De Costa, D.M., y Erabadupitiya, H.R.U.T. (2005). *An integrated method to control postharvest diseases of banana using a member of the Burkholderia cepacia complex*. Postharvest Biology and Technology 36:31-39. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521404002662

Oliveira, C.A., V. Alves, I. Marriel, E. Gomes, M. Scotti, N.P. Carneiro, C.T. Guimaraes, R.E. Schaffert, y N. Sá. (2009). *Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome*. Soil Biol. Biochem. 41, 1782-1787. https://rootbiome.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/38/2015/06/2015-Oliveira-et-al.-phosphate-solubilizing-microbes-Soil-Biol-Biochem.pdf

Rios-Velasco C, Caro-Cisneros JN, Berlanga-Reyes DI, Ruíz-Cisneros MF, Ornelas-Paz JJ, Salas-Marina MA, Villalobos-Pérez E y Guerrero-Prieto VM. (2016). *Identification and antagonistic activity in vitro af Bacillus spp. and Trichoderma spp. isolates againts common phytopathogenic fungi*. Revista Mexicana de Fitopatología 34: 84-99. https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v34n1/2007-8080-rmfi-34-01-00085-es.pdf

DGSIAP (2024), *Arándano Azul (BLUEBERRY)*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Sudhasus S. P. (1998). *Interacitions o fan acid tolerant strain of phosphate solubilizing bacteria with a few acid tolerant crops*. Plant and Soil 2. 169-177. https://doi.org/10.1023/A:1004318814385

Soto. J. y Alcaraz M. (2022). *Bacterias solubilizadoras de fosforo inorganico aislados de la rizosfera de Coffea americana in Roja-Peru.* Ciencia e investigación. 25(1),11-16. https://doi.org/10.15381/ci.v25i1.23466

Capítulo **8**

Bioestimulación con zinc en semillas de cebada maltera mediante *Priming*, cultivada en suelo arcilloso del Valle de Mexicali

Vega Sánchez Lorena Edith[14]
Salazar Navarro Alexis[14]
Basilio Cortes Ulin Antobelli[14]
Joya Dávila José Gregorio[14*]
Serrano Gómez Leslie Alondra[15]
Alvarado Padilla Jorge Iván[16]
González Mendoza Daniel[14]

[14] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera Delta Oaxaca s/n C.P. 21705. *Autor de correspondencia: jose.joya@uabc.edu.mx.
[15] Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez.
[16] INIFAP, Campo Experimental Valle de Mexicali. Carretera a San Felipe, Km 7.5 Mexicali, Baja California.

Resumen

El zinc desempeña un papel fundamental en los procesos fisiológicos de los cultivos y puede actuar como bioestimulante en condiciones adversas. En este estudio se evaluó el efecto del priming con zinc en semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) sembrada en suelo salino-arcilloso del Valle de Mexicali. Se utilizaron dos tratamientos (con y sin zinc) bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las evaluaciones se realizaron en cuatro etapas fenológicas, considerando variables como biomasa fresca, número de tallos y espigas por metro cuadrado. En la cosecha se evaluaron altura de planta, biomasa por planta, características morfológicas de la espiga y rendimiento. El tratamiento con zinc mostró incrementos estadísticamente significativos en el número de espigas, peso por espiga, biomasa por planta y rendimiento, con un aumento de 440 kg ha^{-1} respecto al control. Los resultados sugieren que el zinc aplicado como priming mejora la expresión reproductiva y la productividad en cebada maltera bajo condiciones edáficas desfavorables.

Introducción

La aplicación de zinc (Zn) en la agricultura ha demostrado tener un papel clave en la regulación de procesos fisiológicos esenciales en los cultivos, particularmente por su función como cofactor enzimático y su participación en la síntesis de fitohormonas, lo que lo convierte en un micronutriente bioestimulante (Ali et al., 2025; Oliveira, 2023). En cereales como el trigo y la cebada, su deficiencia puede reducir la formación de espigas, el llenado de grano y el rendimiento total (Fanzo y Davis, 2021). En el Valle de Mexicali, las condiciones edáficas en algunos suelos agrícolas presentan textura fuertemente arcillosa (>50 % de arcilla), pH básico y alta conductividad eléctrica, lo cual limita la disponibilidad de nutrientes y restringe el desarrollo radicular (Escobosa-García et al., 2022). Además, el ciclo de

siembra puede afectar críticamente el rendimiento final. Las siembras tardías, comunes en enero, se enfrentan a condiciones térmicas adversas durante la floración, lo cual puede afectar negativamente la polinización y la formación de espigas. Por tanto, surge la necesidad de explorar alternativas que permitan a las plantas expresar su potencial productivo incluso bajo estas condiciones desfavorables. En este contexto, la técnica de priming con micronutrientes como el zinc representa una estrategia viable, ya que favorece una germinación más rápida y uniforme, mejora la tolerancia a factores de estrés y promueve un desarrollo inicial vigoroso, aspectos clave para mitigar los efectos de siembras en condiciones subóptimas (Zulfiqar, 2021). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto bioestimulante del zinc aplicado como tratamiento de *priming* en semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) sembradas en condiciones de suelo arcilloso.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2024-2025 en el Valle de Mexicali, Baja California. La siembra se efectuó el 10 de enero en un suelo con textura arcillosa, pH 8.5. Se utilizó la variedad 'Guanajuato'. Las semillas del tratamiento con zinc se sometieron a un proceso de priming durante dos horas en una solución al 5 % de Zintrac 700®. La siembra se realizó manualmente utilizando una sembradora de rodillos (ACME-Agro AM-001/20F, China). Se depositaron aproximadamente 27 ± 2 semillas por cada sitio de siembra, con una separación de 0.2 m entre sitios. El arreglo consistió en doble hilera por surco, establecida en surcos de 20 m de largo y 0.4 m de ancho. Este sistema permitió una densidad aproximada de siembra de 270 ± 20 semillas por metro cuadrado. Previamente a la siembra, se aplicó una fertilización de fondo de 100 kg ha^{-1} de MAP y 50 kg ha^{-1} de 15-15-15 (N:P:K), ambos localizados en el centro del surco. Durante el ciclo se realizaron tres riegos por gravedad, alcanzando la altura del lomo del surco. El volumen aplicado en cada riego fue equivalente a 1.8 m^3 por evento, y un total acumulado de 5.4 m^3 por surco. En el segundo riego se incorporaron 100 kg ha^{-1} de urea disuelta. No se realizaron aplicaciones de fungicidas ni insecticidas.

Se evaluaron dos tratamientos: semillas sin tratamiento (control) y semillas tratadas con zinc mediante priming, con cuatro repeticiones por

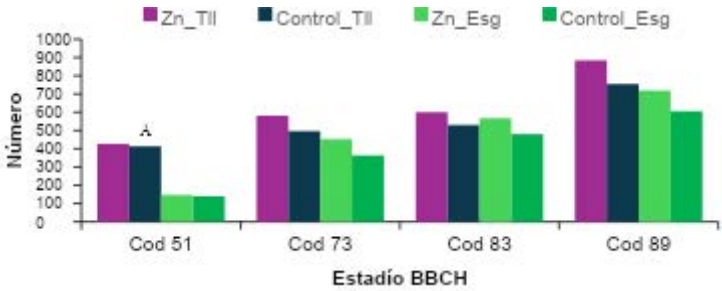
tratamiento. Las variables fueron evaluadas al momento de la cosecha; en 10 espigas seleccionadas al azar por repetición se midieron altura de planta, biomasa total por planta y biomasa por espiga, longitud de espiga, de cuerpo granífero y de aristas. El rendimiento se estimó para cada repetición a partir del grano obtenido en 10 m^2 y se expresó en kg ha^{-1}. Biomasa fresca total (kg m^{-2}), número de tallos y de espigas por metro cuadrado se evaluó en cuatro etapas fenológicas de acuerdo con la escala BBCH: medición 1 (BBCH 51, inicio del espigado), medición 2 (BBCH 73, grano lechoso temprano), medición 3 (BBCH 83, grano pastoso blando) y medición 4 (BBCH 89, madurez completa). Los datos se analizaron mediante una prueba t utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.

Resultados y discusión

Durante las cuatro etapas fenológicas evaluadas, los resultados indicaron tendencias claras en el comportamiento de las plantas de cebada maltera tratadas con zinc en comparación con el control. En la fase BBCH 51 (inicio del espigado), no se observaron diferencias estadísticas en la biomasa fresca por metro cuadrado, aunque el tratamiento con zinc mostró valores consistentemente superiores a lo largo del ciclo. Esta tendencia se mantuvo hasta la fase BBCH 89 (madurez completa), donde el tratamiento con zinc alcanzó 1.9 kg m^{-2}, mientras que el control descendió a 1.6 kg m^{-2}. Estos resultados coinciden con lo reportado por Cakmak (2008), quien señala que el zinc puede mejorar la eficiencia fotosintética y la retención de biomasa bajo condiciones de estrés. La evolución del número de tallos y espigas por metro cuadrado se muestra en la Figura 1, donde es evidente el efecto positivo del zinc a partir del estado BBCH 73. En esta fase se observaron las primeras diferencias significativas en el número de espigas por metro cuadrado. Esta diferencia aumentó progresivamente hasta BBCH 89, con un incremento total de 87 espigas m^{-2} respecto al control. La mayor eficiencia en la formación de estructuras reproductivas sugiere un efecto del zinc en la inducción floral y el desarrollo de espigas, lo cual ha sido descrito previamente por Graham et al. (2007) en condiciones de estrés salino. Por otro lado, aunque el número de tallos por metro cuadrado no mostró diferencias significativas entre tratamientos, el tratamiento con zinc alcanzó una densidad mayor, de hasta 135 tallos m^{-2} al final del ci-

clo. Esto indica que el zinc favoreció el amacollamiento, aunque no todos los tallos en el tratamiento control culminaron en espiga, probablemente por condiciones térmicas adversas durante BBCH 61-65 (floración), lo que refuerza la importancia de un desarrollo temprano robusto en siembras tardías.

Figura 1. *Dinámica del número de tallos (Tll) y espigas (Esg) en cebada maltera con y sin tratamiento de zinc aplicado por priming. Cod: Código BBCH.*



Las diferencias observadas en altura, biomasa y peso de espiga se detallan en el Cuadro 1. Se observaron diferencias estadísticas significativas en la altura de planta, con mayor desarrollo vertical en las plantas tratadas. La biomasa total por planta fue también superior, con un incremento de 0.27 g respecto al control. En cuanto al peso por espiga, el tratamiento con zinc presentó un aumento significativo de 0.26 g, equivalente a un 18,5 % más. Estas variables están estrechamente relacionadas con el llenado de grano, y su mejora ha sido reportada en estudios similares en trigo bajo condiciones de texturas pesadas (Vera et al., 2021). Asimismo, Núñez-Ramírez et al. (2022) documentaron efectos positivos de la fertilización con zinc en cereales cultivados en suelos salinos del norte de México. Respecto a la morfología de la espiga, no se detectaron diferencias estadísticas en la longitud total, ni en la proporción de barbas y cuerpo granífero. No obstante, se registró una diferencia numérica de 0.6 cm a favor del tratamiento con zinc en la longitud del cuerpo granífero, lo cual podría estar asociado a una mayor movilización de fotoasimilados hacia el grano, como lo sugiere Oliveira (2023). El rendimiento final del cultivo mostró una diferencia significativa, con un incremento de 440 kg ha^{-1} en el tratamiento con zinc respecto al control. Esta mejora en el rendimiento puede atribuirse a la combinación de mayor número de espigas, mayor peso por espiga y mejor desempeño fisiológico de las plantas trata-

das, confirmando el potencial del *priming* con zinc como bioestimulante bajo condiciones edáficas limitantes.

Cuadro 1. *Parámetros morfoagronómicos y rendimiento de cebada maltera con y sin tratamiento de zinc por priming.*

Trat	Altura (cm)	Biomasa /planta (g)	Longitud espiga (cm)			Biomasa espiga (g)	Rendimiento (kg/ha)
			Total	Cuerpo	Aristas		
Zinc	53.6±3 a	1.7±0.1 b	17.5±1.3 a	7.3±1.0 a	10.1±0.7 a	1.4±0.1 a	2287±164 a
Control	44 ± 2.3 b	2±0.2 a	17.8±1.1 a	7.2±0.7 a	10.6±0.9 a	1.2±0.1 b	1846±83 b
HSD	2.54	0.21	1.2	0.87	0.77	0.15	295.8

Conclusiones

El zinc aplicado mediante *priming* en semillas de cebada maltera cultivadas bajo condiciones edáficas arcillosas y salinas favoreció la formación efectiva de espigas y mejoró la productividad. Se identificó un efecto bioestimulante reflejado en mayor número de espigas por metro cuadrado, mayor biomasa individual y rendimiento total por hectárea.

Referencias

Ali, M. F., Ma, L., Sohail, S., Zulfiqar, U., Hussain, T., Lin, X., y Wang, D. (2025). *Zinc Biofortification in Cereal Crops: Overview and Prospects.* Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 25, 4260–4294. https://doi.org/10.1007/s42729-025-02396-x

Cakmak, I. (2008). *Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification.* Plant and Soil, 302(1-2), 1-17. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Escobosa-García, I., Vázquez-Medina, M. M., Samaniego-Gámez, B. Y., Valle-Gough, R. E., Vázquez-Angulo, J. C., y Núñez-Ramírez, F. (2022). *Efecto del acolchado en repollo cultivado en el Valle de Mexicali. Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 197-206. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3275

Fanzo, J., y Davis, C. (2021). *Global food systems, diets, and nutrition*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72763-5

Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H. E., Bonierbale, M., y Twomlow, S. (2007). *Nutritious subsistence food systems.* Advances in agronomy, 92, 1-74. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92001-9

Núñez-Ramírez, F., Grijalva-Contreras, R. L., Macías-Duarte, R., Samaniego-Gámez, B. Y., Escobosa-García, I., Grimaldo-Juárez, O., y Suárez-Hernández, Á. M. (2022). *Incorporación de paja al suelo, inoculación con zinc a la semilla y fertilización con nitrógeno en trigo cultivado bajo condiciones de suelo salino*. Terra Latinoamericana, 40. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1010

Oliveira, V. D. S., Marchiori, J. J. D. P., Ferreira, L. D. S., Boone, G. T. F., Pereira, L. L. D. S., Carriço, E., y Bolsoni, E. Z. (2023). *The nutrient zinc in soil and plant: a review.* International Journal of Plant y Soil Science, 35(4), 25-30. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i42794

Vera, L. R. O., Alvarez, J. W. R., Blanco, A. N. G., Rojas, C. A. L., y Fois, D. A. F. (2021). *Fertilización con zinc en trigo, maíz y sésamo en suelos de diferentes texturas.* Investigación Agraria, 23(2), 53-62.

Zulfiqar, F. (2021). *Effect of seed priming on horticultural crops.* Scientia horticulturae, 286. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110197.

II

Agua y suelo

Capítulo 9

Determinación de la capacidad de retención de agua en una parcela de arroz en el distrito de riego 043, Nayarit, México

Can Chulim Álvaro[1]
Cruz Crespo Elia[1]
Ortega Escobar Héctor Manuel[2]
García Paredes Juan Diego[1]
Mancilla Villa Óscar Raúl[3]
Ramos Ramírez Lesset del Consuelo[1]

[1] Universidad Autónoma de Nayarit. canchulim@yahoo.com.mx.
[2] Colegio de Postgraduados.
[3] Universidad Autónoma de Guadalajara.

Resumen

El consumo de agua del arroz se contabiliza a partir de la siembra hasta la cosecha; sin embargo, existe un volumen de agua que pocas veces se considera y esta corresponde a la que se utiliza para saturar el suelo previo a la siembra. Cuantificarlo es importante para hacer un uso más eficiente del agua, ya que por lo común se saturan los suelos para garantizar una germinación homogénea y posterior inundación. El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de retención de agua (CRA) del suelo en una parcela de arroz durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2024-2025, en el Distrito de Riego 043, Nayarit. Se tomaron muestras de suelo en el centro de la parcela, a cada 10 cm de profundidad hasta 90 cm, y se les determinaron textura, densidad aparente, contenido de humedad, y se calculó su CRA. Los resultados indican que son suelos de textura franca con predominancias hacia arcilloso y limoso, con contenidos iniciales de agua por hectárea de 3356 m^3 en el perfil de 0 a 80 cm de profundidad y que se requieren 5161 m^3 para saturarla; por tanto, el requerimiento de agua de riego para saturar el perfil fue de 1805 $m^3\ ha^{-1}$. Se concluye que la CRA del perfil de suelo fue en promedio de 47,5 % y para saturar 9.4 hectáreas se requieren 16 967 m^3. En el proyecto productivo se debe considerar este volumen de agua, la cuota de riego y el jornal que se paga cuando se suministra.

Introducción

El arroz (Oryza sativa L.) se siembra tradicionalmente bajo inundación continua durante la mayor parte de su ciclo de crecimiento (Carracelas et al., 2019; Hattori et al., 2011). Según Bernier et al. (2008), aproximadamente la mitad de la superficie cultivable de arroz en el mundo carece de agua para mantener las condiciones de inundación y el estrés por sequía intermitente en las etapas críticas puede reducir significativamente

el rendimiento. Dunn et al. (2011) señalan que la baja disponibilidad de agua es un desafío importante para la producción de arroz, dado que cada año se necesita producir más con menos agua de riego. Esta necesidad de aumentar la producción de arroz con menos agua es fundamental para la seguridad alimentaria, donde el riego desempeña un papel esencial en la satisfacción de las necesidades alimentarias futuras (Tuong et al., 2005). Además, el cambio climático representa el principal desafío para la agricultura de riego, incluyendo el cultivo del arroz, lo que exige optimizar el uso del agua en los sistemas de riego.

El consumo de agua en el cultivo de arroz se contabiliza desde la siembra hasta la cosecha; sin embargo, suele omitirse el volumen de agua utilizado para saturar el suelo antes de la siembra. Los suelos tienen una capacidad de retención de agua que condiciona los volúmenes totales que se utilizan; esta capacidad está en función directa con las propiedades físicas del suelo. Cuantificar este volumen es importante para optimizar el uso del agua, ya que, como señalan Carracelas et al. (2019), es común saturar los suelos para garantizar una germinación homogénea, seguida de la aplicación de agua hasta alcanzar la inundación. Además, conocer este volumen de agua tiene gran relevancia económica, especialmente en países donde el agua se cobra por m^3 utilizado, lo que debe considerarse en los proyectos de producción.

Carracelas et al. (2019) mencionan que en Uruguay se utiliza una capa de agua sobre la superficie del suelo de 10 cm, y en su experimento obtuvieron un volumen total de 14 700 m^3 para producir una ha de arroz, con un consumo promedio de agua desde la emergencia hasta la cosecha de 6720 m^3 ha^{-1}, es decir, 46 % del agua utilizada se evapotranspira. Similar a lo reportado por Bouman et al. (2017) en China, donde encontraron que el 45 % del agua aportada se utiliza para la evapotranspiración. En México, las investigaciones en arroz se centran en buscar genotipos o líneas para incrementar los rendimientos (Álvarez-Hernández et al., 2022; Barrios-Gómez et al., 2016); sin embargo, no se considera el manejo del riego. Con estos antecedentes se planteó esta investigación para determinar la capacidad de retención de agua del suelo y cuantificar el volumen de agua que se utiliza para saturar el suelo previo a la siembra, en una parcela nivelada de arroz, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2024-2025, en el Distrito de Riego 043 en Nayarit.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2024-2025, en una parcela nivelada con una superficie de 9.4 ha, ubicada en el Módulo de riego margen derecha del Río Santiago, que forma parte del Distrito de riego 043 en el Estado de Nayarit. Situada entre las coordenadas 21°50'48.87" N y 105°12'9.37" O. En el riego por inundación del arroz, el primer riego se utiliza para saturar el suelo, y la práctica común es que el riego se corte al terminar la fase de avance, por lo que la uniformidad de la lámina infiltrada puede ser baja, teniendo un volumen de agua mayor en la zona de compuertas y una menor al final de la parcela. Para evitar estas condiciones, se realizó el muestreo en el centro de la parcela. Se tomaron muestras a cada 10 centímetros de profundidad hasta llegar al nivel freático (suelo saturado) a 90 cm. Se determinaron y estimaron las propiedades físicas del suelo, incluyendo textura, densidad aparente y contenido de humedad, y se calculó la capacidad de retención de agua del suelo determinando el punto de saturación para cada muestra de suelo seco, utilizando las metodologías citadas por Coras-Merino (1999) y por la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Los cálculos de los resultados se realizaron considerando el área de una hectárea.

Resultados y discusión

Los resultados muestran que los estratos de suelo de la parcela presentan una textura franca, con predominio de características arcillosas y limosas, lo que la hace apta para la producción de arroz, debido a su alta retención de humedad. A una profundidad de 80 a 90 cm se encontró suelo saturado, con un contenido de humedad del 50 %, dato confirmado mediante la prueba de pasta de saturación, en la que se determinó que con 200 mililitros de agua se saturan 400 g de suelo, equivalente al 50 % (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con los reportados por Saxton y Rawls (2006) para suelos con estas características físicas.

Cuadro 1. *Propiedades físicas y contenido de humedad del suelo en una parcela de arroz en Nayarit, México.*

Profundidad	Arcilla	Arena	Limo	Textura	Da	PSH	PSS	HD		Pasta saturación	CRA		Requerimiento	
cm	%				g cm^{-3}	kg	kg	%	m^3 ha^{-1}	mL/400 g suelo	%	m^3 ha^{-1}	%	m^3 ha^{-1}
0-10	29	26	45	Franco-arcilloso	1.35	1.850	1.615	14.6	196	186	46.5	626	31.9	431
10-20	35	18	48	Franco-arcillo-limoso	1.35	1.853	1.568	18.2	245	196	49.0	662	30.8	416
20-30	37	18	46	Franco-arcillo-limoso	1.35	2.063	1.648	25.2	340	179	44.8	604	19.6	264
30-40	35	24	42	Franco-arcilloso	1.35	1.935	1.427	35.6	481	172	43.0	581	7.4	100
40-50	45	5	50	Arcillo-limoso	1.35	2.096	1.570	33.5	452	199	49.8	672	16.2	219
50-60	33	17	49	Franco-arcillo-limoso	1.35	2.131	1.571	35.6	481	188	47.0	635	11.4	153
60-70	23	23	53	Franco-limoso	1.42	2.283	1.662	37.4	531	197	49.3	699	11.9	169
70-80	19	23	57	Franco-limoso	1.42	2.664	1.846	44.3	629	192	48.0	682	3.7	52
80-90	25	22	53	Franco-limoso	1.42	2.573	1.715	50.0	710	200	50.0	710	0.0	0
							Suma	=	4066			5871		1805

Da = Densidad aparente, PSH = Peso suelo Humedo, PSS = Peso suelo seco, HD = Humedad disponible, CRA = Capacidad de retencion de agua

Se obtuvo un contenido inicial de agua de 3356 m^3 en el perfil de 0 a 80 cm de profundidad (perfil no saturado) y se calculó que el volumen para saturarla es de 5161 m^3, lo que implica un aporte adicional de 1805 m^3 ha^{-1}. Para las 9.4 hectáreas de la parcela, esto equivale a 16 967 m3. La capacidad de retención de agua, en el perfil de suelo de 0 a 90 cm de profundidad, fue en promedio de 47,5 %.

En varios países se utilizan láminas de inundación de 5 a 10 cm (Polón et al., 2000; Carracelas et al., 2019; Basha y Sarma, 2017); esto implica que es necesario de 500 m3 ha-1 para una lámina de 5 cm y 1000 m^3 ha^{-1} para una lámina de 10 cm. En el área de estudio se emplea comúnmente una lámina de 20 cm, equivalente a 2000 m^3; sumando los 1805 m^3 necesarios para saturar el suelo, se requieren 3805 m^3 ha^{-1} iniciales para establecer esta lámina de inundación.

Esta información es importante para los proyectos de producción en Nayarit, tanto por el agua como por los costos asociados. Según el FIRA (2025), en el ciclo otoño-invierno 2024-2025, el costo por cuota de riego en Nayarit fue de 1150 pesos por hectárea, mientras que el costo por jornal fue de 500 pesos.

Conclusiones

Se concluye que la capacidad de retención de agua en el perfil de suelo de 0 a 90 cm de profundidad, en la parcela ubicada en el Módulo de Riego Margen Derecha del Río Santiago, en el Distrito de Riego 043 en el Estado de Nayarit, fue en promedio de 47,5 %, y el volumen de agua de riego que se requiere para saturarla fue de 16 967 m3. En el proyecto productivo se debe considerar este volumen de agua, la cuota de riego y el jornal que se paga cuando se suministra.

Referencias

Álvarez-Hernández, J. C.; Tapia-Vargas, L. M.; Hernández-Aragón, L.; Tavitas-Fuentes, L., y Apaez-Barrios, M. (2022). *Potencial productivo del arroz 'Lombardía FLAR 13' genotipo de grano largo y delgado de la zona arrocera de Michoacán*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13(6), 1117-1127. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3037

Barrios-Gómez, E. J.; Rodríguez-Morelos, V. H.; Hernández-Aragón, L.; Tavitas-Fuentes, L.; Hernández-Pérez, A.; Tapia-Vargas, L. M., y Pinzón-García, J. M. (2016). *Evaluación de líneas de arroz de grano delgado para riego en México*. Interciencia, 41(7), 476-481. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33946267006

Basha, S. J., y Sarma, S. R. (2017). *Yield and water use efficiency of rice (Oryza sativa L.) relative to scheduling of irrigations*. Annals of Plant Sciences, 6.02, 1563-1567. https://doi.org/10.21746/aps.2017.02.005

Bernier, J.; Atlin, G. N.; Serraj, R.: Kumar, A., y Spaner, D. (2008). *Breeding upland rice for drought resistance*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(6), 927-939. https://doi.org/10.1002/jsfa.3153

Bouman, B. A. M.; Feng, L.; Tuong, T. P.; Lu, G.; Wang, H., y Feng, Y. (2007). Exploring options to grow rice using less water in northern China using a modelling approach II. *Quantifying yield, water balance components, and water productivity*. Agricultural Water Management, 88(1–3), 23-33. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.005

Carracelas, G.; Hornbuckle, J.; Rosas, J., y Roel, A. (2019). *Irrigation management strategies to increase water productivity in Oryza sativa (rice) in Uruguay*. Agricultural Water Management, 222, 161-172. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.049

Coras-Merino, P. M. 1999. *Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego*. Chapingo. Universidad Autónoma Chapingo.

Dunn, B. W., y Gaydon, D. S. (2011). *Rice growth, yield and water productivity responses to irrigation scheduling prior to the delayed application of continuous flooding in south-east Australia*. Agricultural Water Management, 98(12), 1799-1807. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.004

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2025). *Agrocostos, cultivo arroz, ciclo Otoño-Invierno 2024-2025*. https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp

Hattori, Y.; Nagai, K., y Ashikari, M. (2011). R*ice growth adapting to deep water*. Current Opinion in Plant Biology, 14(1), 100-105. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.09.008

Polón, R.; Castro, R.; Parra, Y.; López, E., y Mesa, S. (2000). *Effect of irrigation regime on water layer reposition in rice crop (Oryza sativa L.)*. Cultivos Tropicales, 21(4), 35-37. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230160007

Saxton, K. E., y Rawls, W. J. (2006). *Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions*. Soil Science Society of America Journal, 70, 1569-1578. https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf

Tuong, P.; Bouman, B. A. M., y Mortimer, M. (2005). *More rice, less water-integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia*. Plant Production Science, 8(3), 231–241. https://doi.org/10.1626/pps.8.231

Capítulo **10**

Efecto del acrilato de potasio en el cultivo de sorgo (*Sorgum bicolor*) como retenedor de humedad en suelos aluviales

Romero Berrelleza José Pablo[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[1]
Rabago Zavala Karen[1]
Herrera Rodríguez Gabriel[2]
Ayala Armenta Quintín Armando[1]
López Valenzuela Blanca Elvira[1]

[1] fernando.vzla@favf.mx.
[2] Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Av. Japaraqui y Calle 16.. Juan José Ríos, Sinaloa. C.P. 8111 Junta Local de Sanidad Vegetal del Valle del Fuerte C. Gral. Lázaro Cárdenas 347-301, Centro, Los Mochis, Sinaloa.

Resumen

Se evaluó el acrilato de potasio, un polímero superabsorbente, para mejorar la retención de humedad en suelos aluviales cultivados con sorgo (*Sorghum bicolor* L.). El ensayo tuvo una duración de 6 meses (desde la siembra hasta la etapa vegetativa avanzada) durante el ciclo primavera–verano, bajo condiciones de sequía marcada y temperaturas superiores a 35 °C, propias del municipio de Ahome, Sinaloa. Se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en el lote "LAS 100" de la agrícola La Quinta Produce, con cuatro tratamientos de diferentes dosis de acrilato de potasio en 16 unidades experimentales. La humedad del suelo se midió con un dispositivo TDR. El análisis de varianza (ANOVA) mostró que las dosis (T2, T3, T4) de acrilato de potasio influyeron significativamente en la retención de humedad del suelo ($p < 0.05$), sin diferencias significativas entre los bloques, lo que sugiere que la variabilidad en la humedad no se debió a la disposición experimental. Las pruebas de Tukey revelaron que la dosis alta de acrilato de potasio mejoró de manera significativa tanto la retención de humedad como el rendimiento agrícola del sorgo, alcanzando valores promedio de 5.2 t ha^{-1}, en comparación con el control (3.4 t ha^{-1}) y las dosis bajas y medias.

Introducción

El uso eficiente del agua en la agricultura es un tema de creciente importancia debido a la variabilidad climática y la disponibilidad limitada de recursos hídricos en muchas regiones agrícolas. En el norte de Sinaloa, donde la precipitación media anual es de 270 mm y la temperatura media es de 25°C, la capacidad de retención de humedad en los suelos aluviales es crucial para el éxito de los cultivos (García, 2010). El acrilato de potasio, un polímero superabsorbente, ha demostrado potencial para mejorar la retención de agua en el suelo, lo cual resulta especialmente beneficio-

so en cultivos de regiones áridas y semiáridas (Zhang et al., 2015). Este compuesto tiene la capacidad de absorber y retener grandes cantidades de agua, liberándola gradualmente a las plantas durante periodos de sequía (El-Rehim et al., 2004). La investigación sobre el uso de acrilato de potasio en la agricultura se ha centrado en su capacidad para mejorar las propiedades físicas del suelo y aumentar la eficiencia del uso del agua. Estudios anteriores han mostrado que la aplicación de polímeros superabsorbentes puede reducir la frecuencia de riego y mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas (Gehring et al., 2007). El objetivo de este trabajo fue evaluar tres dosis de acrilato de potasio y un testigo sobre la variable de contenido volumétrico de agua (VWC) disponible en el suelo y su efecto en el rendimiento del cultivo de sorgo.

Materiales y métodos

La investigación se realizó de enero a junio de 2024 en el lote denominado "LAS 100" de la agrícola La Quinta Produce, ubicado en el municipio de Ahome, Sinaloa, con coordenadas 25°50'15.3" N y 109°13´34.9" W (INEGI, 2023). El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro repeticiones, sumando un total de 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental ocupó una superficie de 15 m², delimitada con banderas de colores según el tratamiento aplicado. Se dejó un surco de separación entre cada unidad experimental y un metro de separación entre los bloques. Para un área total de 240 m², medida con una cinta métrica (García et al., 2019). Se utilizó el dispositivo TDR (HS2 HydroSensen II) para medir el contenido volumétrico de agua (VWC) a una profundidad de 15 cm. El análisis inicial del suelo mostró un VWC en seco de 13,2 %, y tras el riego, un VWC en húmedo de 22,3 % (Rodríguez y Martínez, 2021). Se aplicaron tres dosis de acrilato de potasio en metros lineales: 50 g/ML (T1), 100 g/ML (T2) y 150 g/ML (T3), además de un testigo sin acrilato de potasio (T0). La aplicación del acrilato fue manual un mes antes del riego del cultivo de sorgo, a una profundidad de 15 cm y de manera horizontal en 15 metros lineales por unidad experimental para asegurar una correcta dosificación (López y Hernández, 2018). La totalidad de los datos se analizó con el paquete estadístico SAS.

Resultados y discusión

Efecto de bloques: En el experimento, se esperaba que los bloques fueran una fuente de variación debido a diferencias en las condiciones del suelo y otros factores no controlados. Sin embargo, los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) mostraron que el valor p asociado con los bloques fue alto ($p > 0.3996$), lo que indica que las diferencias entre los bloques no son significativas. Esto sugiere que la variabilidad observada en la humedad del suelo no se debió principalmente a las diferencias entre los bloques, sino a otros factores experimentales. García (2010) menciona que, en estudios similares, la variabilidad intra-bloque fue menor al 5 %, lo que sugiere que las condiciones del suelo y otros factores no controlados tuvieron un impacto limitado en la retención de humedad.

Efecto de dosis: El resultado del (ADEVA) indicó que las diferentes dosis de acrilato de potasio tienen un efecto significativo en la retención de humedad del suelo, con un valor p menor que 0.05 ($p=0.0001$) (Cuadro 1). Estos resultados confirman que la aplicación de acrilato de potasio ejerce una influencia significativa en la capacidad del suelo para retener humedad. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que demuestran la efectividad de los polímeros superabsorbentes en mejorar la retención de agua en suelos agrícolas. López y Hernández (2018) reportaron que la adición de acrilato de potasio incrementó la retención de humedad en un 25 % en comparación con suelos no tratados, destacando su potencial para aplicaciones agrícolas. Así mismo, El-Rehim et al. (2004) encontraron que los polímeros superabsorbentes pueden incrementar la capacidad de retención de agua en suelos arenosos hasta en un 50 %, mejorando significativamente el rendimiento agrícola en condiciones de sequía. Yazdani et al. (2007) reportaron que el uso de polímeros superabsorbentes en cultivos de soya bajo condiciones de estrés hídrico incrementó el rendimiento de los cultivos en un 30 % comparado con los controles sin tratamiento. Además, Zhang et al. (2015) demostraron que los polímeros superabsorbentes pueden mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, manteniendo niveles óptimos de humedad durante ciclos de humedad y sequía.

Cuadro 1. *ANDEVA para la humedad del suelo considerando la aplicación de acrilato de potasio*

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	6	94.2773500	15.71	18.88	0.0001
Error	9	7.48	0.83		
Total corregido	15	101.76			

Las comparaciones múltiples de Tukey revelaron diferencias significativas entre las dosis específicas:

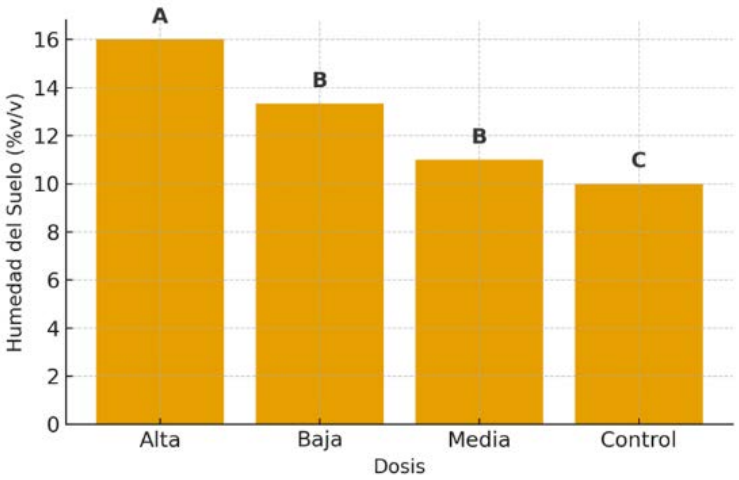
Dosis alta vs. control: Se observó una diferencia significativa ($p < 0.05$), indicando que la dosis alta mejora notablemente la retención de humedad en comparación con el control. Este resultado sugiere que la dosis alta de acrilato de potasio es altamente efectiva para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo, con un incremento del 35 % en la retención de humedad comparado con el control.

Dosis media vs. control: También mostró una mejora significativa en la retención de humedad respecto al control, confirmando la efectividad de la dosis media en comparación con la ausencia de acrilato, con un aumento del 20 % en la retención de humedad en comparación con el control.

Dosis baja vs. control: Aunque se observó una mejora, esta fue menor en comparación con las dosis media y alta, lo que indica que la dosis baja tiene un efecto positivo, pero menos pronunciado en la retención de humedad del suelo, con un aumento del 10 % en la retención de humedad. En comparación con el control, estos resultados son similares a los descritos por Solís et al. (2020).

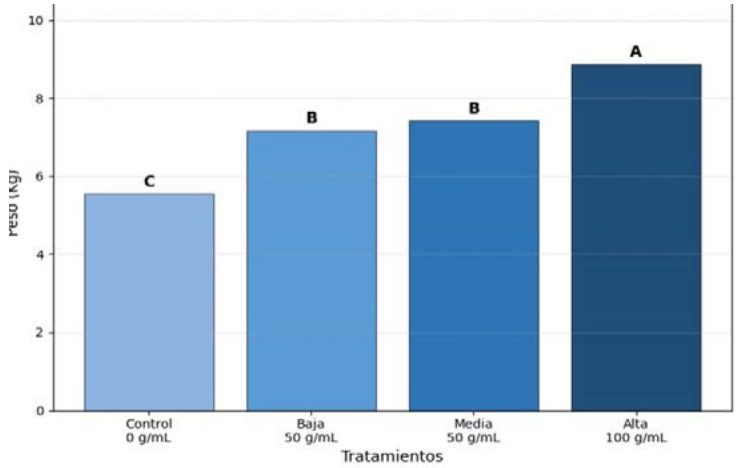
Comparaciones entre dosis: Las diferencias significativas entre las dosis alta y baja, así como entre la dosis alta y media, indican una relación dosis-respuesta, donde el aumento de la dosis de acrilato de potasio incrementa la retención de humedad del suelo. Según López y Hernández (2018), se observó un incremento del 15 % en la retención de humedad con la dosis media y un incremento del 25 % con la dosis alta en comparación con la dosis baja.

Figura 1. *Prueba de Tukey alfa = 0.05 para porcentaje de humedad de suelo (VWC).*



La dosis alta de acrilato de potasio produjo un peso de parcela cosechada promedio de 8.87 kg, lo que representa un incremento del 60 % respecto al control (5.55 kg/15/m^2). Las dosis media y baja registraron rendimientos de 7.42 kg/15m^2 y 7.17 kg/15/m^2 por parcela, incrementos del 34 % y 29 %, respectivamente, en comparación con el testigo. Estas diferencias fueron significativas ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey y muestran una relación dosis-respuesta en la que mayores dosis del polímero superabsorbente se traducen en mayor rendimiento. Estudios previos han reportado efectos similares en cultivos sometidos a estrés hídrico, donde la adición de hidrogeles incrementó el rendimiento entre 30 % y 50 % (Yazdani et al., 2007; Zhang et al., 2015).

Figura 2. *Peso de grano de parcela cosechada bajo diferentes dosis de acrilato de potasio.*



Conclusiones

El análisis sugiere que la aplicación de acrilato de potasio mejora significativamente la capacidad de retención de humedad del suelo en el zona evluada. En particular las dosis altas y medias de acrilato demostraron ser especialmente eficaces, como lo evidencian los porcentajes superiores de humedad registrados en comparación con el tratamiento control. Estos resultados tienen implicaciones prácticas importantes para la gestión del riego y la mejora de la eficiencia hídrica en sistemas agrícolas, especialmente en regiones con disponibilidad limitada de agua.. La incorporación de acrilato de potasio puede ser una estrategia viable para optimizar el uso del agua en la agricultura, contribuyendo a la sostenibilidad de los cultivos bajo condiciones de estrés hídrico. Su aplicación podría representar una herramienta valiosa en el diseño de prácticas agrícolas resilientes frente a escenarios de escasez hídrica.

Referencias

El-Rehim, H. A., Hegazy, E. A., y Abd El-Mohdy, H. L. (2004). *Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase performance of the agricultural process*. Journal of Applied Polymer Science, 93(3), 1360–1371. https://doi.org/10.1002/app.20576

García, E. (2010). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5.ª ed.). Instituto de Geografía, UNAM. https://www.inegi.org.mx

Gehring, J. M., y Lewis, A. J. (1980). *Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 105(4), 511–513. https://doi.org/10.21273/JASHS.105.4.511

INEGI. (2023). *Información geográfica de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. https://www.inegi.org.mx

López, R., y Hernández, P. (2018). *Métodos de aplicación de polímeros superabsorbentes en la agricultura*. Journal of Agricultural Research, 45(2), 67–79.

Martínez, F., y Gómez, L. (2022). *Técnicas de riego y manejo del agua en cultivos de sorgo*. Agronomía Mesoamericana, 33(1), 23–35. https://doi.org/10.15517/am.v33i1.47612

Rodríguez, A., y Martínez, C. (2021). *Calibración de equipos de medición de humedad en suelos agrícolas*. Tecnología y Ciencias del Agua, 12(4), 45–58. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-04-04

Solís, F., et al. (2020). *Evaluation of four doses of potassium polyacrylate in the development of the coffee crop (Coffea arabica L.) and in the conservation of available moisture for the plant in the soil.* Agrociencia, 54(6), 765–780.

Yazdani, F., Allahdadi, I., y Akbari, G. A. (2007). I*mpact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (Glycine max L.) under drought stress condition.* Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(23), 4190–4196. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.4190.4196

Zhang, M., Wang, H., Yang, Z., Wang, L., y Chen, W. (2015). *Effects of superabsorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles*. PLOS ONE, 10(11). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141543

Capítulo **11**

Uso de agua de mar en la producción de acelga (*Beta vulgaris*) con riego por capilaridad

Zamora Salgado Sergio[1]
Beltrán Morales F. Alfredo[1]
Ruíz Espinoza Higinio[1]
Meza Pérez, Clara Alicia G.[2]
Murillo Chaidez Ramón A.[3]
Méndez Garfias Consuelo[4]

[1] Profesor-investigador.
[2] Alumno VI semestre Ing. Agrónomo.
[3] Ayudante académico.
[4] Laboratorista. Universidad Autónoma de Baja California Sur. szamora@uabcs.mx.

Resumen

La escasez de agua dulce y la creciente salinización de suelos representan desafíos críticos para la agricultura sostenible en el siglo XXI. Diversos estudios han explorado el uso del agua de mar como recurso alternativo, destacando su abundancia, estabilidad frente a variaciones climáticas y riqueza mineral. Mediante técnicas como el riego por capilaridad y la adaptación de cultivos tolerantes a la salinidad, se ha demostrado la viabilidad de cultivar especies como la acelga en condiciones salinas. Este estudio se desarrolló en la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), campus La Paz, con el objetivo de evaluar el efecto del agua de mar en el desarrollo de acelga bajo riego por capilaridad. Se establecieron cinco tratamientos con diferentes proporciones de agua de mar y agua potable, en un diseño experimental de bloques completos al azar. Las variables evaluadas fueron longitud y ancho de hoja, rendimiento y conductividad eléctrica. Los resultados indicaron que solo los tratamientos con menor proporción de agua de mar (T4 y T5) permitieron llevar el cultivo a cosecha. La alta salinidad afectó la supervivencia en los tratamientos más concentrados, aunque se logró una planta en T2. Se concluye que la acelga tolera salinidades de hasta 12 $dS \cdot m^{-1}$, lo que representa una alternativa viable en zonas con escasez de agua dulce, siempre que se optimicen las diluciones y se controle la acumulación de sales en las hojas.

Introducción

La FAO (sf), en su artículo "The importance of sustainable water management", resalta que garantizar el suministro confiable de agua suficiente, aumentar la transparencia de la gestión del riego y lograr eficiencia y equidad en el acceso al agua probablemente requieran cambios de actitud en las instituciones y entre los agricultores. Diversos estudios han señalado que el agua de mar contiene una amplia gama de elementos minerales que

coinciden con los componentes esenciales del suelo agrícola. Fernández (2019) destaca que la mayoría de los elementos que conforman la corteza terrestre están presentes en el agua de mar; entre ellos se encuentran nutrientes fundamentales para el desarrollo vegetal como magnesio, calcio, potasio y fósforo, así como otros oligoelementos valiosos como yodo, manganeso, molibdeno, cobalto, selenio y zinc. Esta composición sugiere que, bajo condiciones controladas y con estrategias adecuadas de manejo, el agua de mar podría contribuir al suministro de micronutrientes en sistemas agrícolas sostenibles. Metternicht y Zinck (2003) mencionan que los dos modelos que consideran más eficientes para regar con agua de mar son los que nos muestra la naturaleza: creando una capa freática con agua de mar para mantener el subsuelo siempre húmedo y adaptando las plantas a la salinidad del agua de mar (como puede ser la acelga), cultivándolas en un suelo que tenga la capacidad de drenar el exceso de sales.

Aquamaris (2015) señala que se demuestra que no es el agua del mar en sí la que hace morir a las plantas, sino el modo en que se utiliza. Para ello, han invertido el sistema de riego tradicional utilizado con el agua dulce, de arriba hacia abajo, empleando un sistema freático, haciendo llegar la humedad a la planta por capilaridad. Ecoembes (2023) cita que, en diferentes partes del mundo, están brotando iniciativas que transforman el planteamiento inicial: no cambiemos el agua del mar, sino la manera en que cultivamos con ella. También señala que Yuan Longping et al., tras desarrollar una cepa que permite que el cultivo crezca en agua salada, han logrado cosechar con éxito arroz en los desiertos de Dubái. La cosecha superó las expectativas de los científicos, ya que llegó a casi 8 t ha-1. La Universidad Católica del Norte (2017) señala que Gutiérrez et al. han logrado cultivar acelgas y tomates cherry en la zona costera de Atacama. En un experimento, se colocaron las hortalizas en tres niveles: 40, 80 y 110 centímetros de altura, y el agua de riego les llegó por capilaridad. En este sentido, Adrianzen (2017), replicando el trabajo realizado por Gutiérrez en el desierto de Atacama, concluye que es posible utilizar el agua de mar para el desarrollo de un cultivo de la especie acelga; expone que, en el estudio, obtuvieron valores promedio de altura de planta de 29.1 cm, ancho foliar de 9.8 cm y peso fresco de 39.5 g. Estos resultados sustentan la necesidad de profundizar en el análisis del comportamiento agronómico de la acelga (Beta

vulgaris) y otros cultivos, cuando se emplea agua de mar como fuente de riego. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del agua de mar en el desarrollo morfológico y productivo del cultivo de acelga bajo un esquema de riego por capilaridad, considerando parámetros de crecimiento vegetal como indicadores de viabilidad técnica.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en una casa sombra ubicada en el campo agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), campus La Paz, con coordenadas 24°10' de latitud norte y 110°19' de longitud oeste, a una altitud de 18 metros sobre el nivel del mar. Se establecieron cinco tratamientos con cuatro repeticiones, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron: T1: 100 % agua de mar (a.m.); T2: 75 % agua de mar y 25 % agua potable; T3: 50 % agua de mar y 50 % agua potable; T4: 25 % agua de mar y 75 % agua potable; y T5: 100 % agua potable (a.p.), considerado como testigo. Cada repetición consistió en un contenedor individual DE PVC de 6 pulgadas de diámetro y de 60 cm de alto. con una planta. La siembra se realizó en charola germinadora para su posterior trasplante, a los 25 días. Para la selección de los contenedores se realizó, en laboratorio, un ensayo para determinar la altura alcanzada por el agua por ascenso capilar y se llenaron con suelo de textura migajón arenosa (76 % de arena) (Fig. 1). El agua de riego se aplicó directamente en los recipientes, permitiendo que el agua ascendiera por capilaridad hasta humedecer el suelo en cada maceta. La reposición del agua se realizó en función de la pérdida en los recipientes. Se determinó la conductividad eléctrica en cada uno de los tratamientos, ancho y largo de la hoja, clorofila A y B. La clorofila A es el pigmento principal y la clorofila B, como pigmento accesorio. Ambas clorofilas son componentes de las membranas fotosintéticas y se presentan en una relación (A/B) de aproximadamente 3 a 1. Las plantas expuestas a mucha luz (cloroplastos de mucha luz) exhiben proporciones A/B de hasta 3,2 a 4, mientras que las plantas de sombra (cloroplastos de poca luz) poseen valores más bajos para la proporción a/b (2,5 a 2,9). Para la determinación de clorofila se utilizaron muestras de hojas con peso de 0,5 g y se mezclaron con 10 mL de una solución compuesta por 200 mL de

acetona (80 %) y 50 mL de agua destilada (20 %), siguiendo el protocolo de Xu et al. (2013).

Resultados

Los resultados obtenidos exponen una marcada influencia de la salinidad en la supervivencia y desarrollo del cultivo de acelga (Beta vulgaris) bajo riego por ascenso capilar. (Cuadro 1). Únicamente los tratamientos T4 (25 % agua de mar + 75 % agua potable) y T5 (100 % agua potable) permitieron la supervivencia de las plantas hasta la cosecha (Figura 1). En consecuencia, no fue posible realizar un análisis estadístico formal, aunque se registraron mediciones individuales en los tratamientos con menor supervivencia.

Figura 1. *Distribución de Trasplante, desarrollo y toma de datos.*

Cuadro 1. *Valores obtenidos de conductividad de la solución y variables consideradas.*

Tratamiento	C. E (dS m-1)	Ancho de la hoja (cm)	Largo de la hoja (cm)	Número de hojas	Clorofila A Microg/ gr de hoja	Clorofila B Microg/gr de hoja
T1: 100 % am**.	37.00	0	0	0	-	-
T2: 75 % am y 25 % ap* **	31.00	6.9	9	7	-	-
T3: 50 % a.m. y 50 % ap	25.00	5.3	8	7	215.7	75.5
T4: 25 % am. y 75 % ap	12.00	5.8	11.9	7.3	310.0	103.2
T5: 100 % a.p	1.36	9.7	15.5	8.5	352.7	122.6

*Los datos corresponden a la única planta que se logró en este tratamiento
**am, Agua de mar; ap, Agua potable.

La no persistencia de las plantas en los tratamientos T1, T2 y T3 se atribuye al elevado contenido de sales, las cuales superan los umbrales de tolerancia reportados para cultivos de hoja, lo que explica la rápida desecación observada. No obstante, en T3 se logró una planta aislada, cuyas mediciones permiten inferir una respuesta fisiológica parcial, con valores de clorofila A (215.7 μg·g-1) y B (75.5 μg·g-1) que sugieren actividad fotosintética funcional. Los tratamientos T4 y T5, con conductividades de 12.00 y 1.36 dS·m-1 respectivamente, mostraron los mejores resultados en términos de desarrollo foliar. El tratamiento con agua potable (T5) presentó los mayores valores en ancho de hoja (9.7 cm), largo de hoja (15.5 cm), número de hojas (8.5) y concentración de clorofila A (352.7 μg·g-1) y B (122.6 μg·g-1). La relación entre clorofila A y B osciló entre 2.8 y 3.0, en concordancia con lo reportado por Xueyun et al. (2003), quienes establecen una proporción típica de 3:1 en tejidos vegetales sanos. Comparativamente, los valores morfológicos obtenidos en T4 y T5 fueron inferiores a los reportados por Adrianzen (2017), quien documenta hojas de acelga de hasta 29.1 cm de largo y 9.8 cm de ancho bajo condiciones óptimas. Cabe destacar que los resultados contrastan con lo señalado por González et al. (2017) y Adrianzen (2017), quienes reportan supervivencia en todos los tratamientos con agua de mar.

Conclusiones

Lo observado confirma que el cultivo de la acelga es tolerante a la salinidad, en este caso de 12 dS m^{-1}; puede ser significativo en lugares donde el agua dulce escasea, ya que permite un ahorro de 25 L en cada 100 L. Si bien es cierto que no se logró el resultado esperado, obtener plantas en todos los tratamientos refleja la posibilidad de continuar con trabajos relacionados con agua de mar, probando diluciones con menor margen y llevando mediciones de calidad como la concentración de las sales en la hoja.

Referencias

Adrianzen, G. V. M. (2017). *Uso del agua de mar para el desarrollo de un cultivo de acelga (Beta vulgaris var. cicla) mediante el riego por capilaridad en un huerto escalonado* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

Aladyr. (2019). *Desalinización de agua de mar para agricultura en contexto.* https://aladyr.net/wp-content/uploads/2020/03/costos_desalacionfinal-1.pdf

Aquamaris. (2015). *Agricultura con agua de mar.* https://elaguademar.wordpress.com/category/agricultura-con-agua-de-mar/

Ecoembes. (2023). *Agua de mar para regar las cosechas del futuro.* https://ecoembesdudasreciclaje.es/agricultura-con-agua-de-mar/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). T*he importance of sustainable water management.* https://www.fao.org/land-water/water/es.

Fernández, R. (2019). *Del mar al campo: El potencial del agua de mar para el riego de cultivos.* Agroecología SL. https://agroecologysl.com/del-mar-al-campo-el-potencial-del-agua-de-mar-para-el-riego-de-cultivos

Hu, X., Tanaka, A., y Tanaka, R. (2013). *Simple extraction methods that prevent the artifactual conversion of chlorophyllide during pigment isolation from leaf samples.* Plant Methods, 9. http://www.plantmethods.com/content/9/1/19

Metternicht, G. I., y Zinck, J. A. (2003). *Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints.* Remote Sensing of Environment, 85, 1–20.

Turhan A., Kuscu H., Ozmen N. Sitki S. M., and Demir.A. O. (2014). *Effect of different concentrations of diluted seawater on yield and quality of lettuce*. Chilean journal of agricultural research. On-line version ISSN 0718-5839. Consultado el 3 /08/25.

Universidad Católica del Norte. (2017). *Ingenieras logran producir hortalizas con agua de mar sin desalar*. https://www.noticias.ucn.cl/noticias/ingenieras-logran-producir-hortalizas-con-agua-de-mar-sin-desalar/

Capítulo **12**

Textura del suelo: influencia en el rendimiento y calidad del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.)

Armenta Ayala José Oscar[1]
Angulo Castro Azareel[1]
González Balcázar Antonio[1]
Ruiz Quintero Federico[1]
Serrano López Luis Ángel[1]
Zazueta López Jorge Enrique[1]

[1] Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, C.P. 80000, Apartado Postal 25. Culiacán Rosales, Sinaloa, México. joaa20@uas.edu.mx.

Resumen

La cebolla es una hortaliza de importancia mundial debido a su valor nutrimental y a sus cualidades medicinales. Es por ello que el objetivo de este estudio es determinar en qué textura del suelo se obtiene el mayor rendimiento de cebolla y las mejores cualidades en diferentes características del bulbo de cebolla, como peso, diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP), grados Brix, firmeza y peso seco. El experimento se implementó en un invernadero con cubierta de plástico de 65 % para evitar que la lluvia influyera en los resultados, y malla antiáfidos a los costados, de modo que se evitó el acceso de insectos. Dentro del invernadero se colocaron las 96 unidades experimentales (UE) que constaron de receptáculos de plástico de 40 cm x 60 cm x 30 cm llenos de las diferentes texturas utilizadas, donde se sembraron 12 bulbos de cebolla variedad Carta Blanca, sembrados en zigzag, y se empleó cintilla de riego por goteo con caudal de 1.0 L h-1. Para evitar la afectación por falta de nutrientes, se aplicaron las mismas dosis en todas las UE. Además, se mantuvo un eficiente control de enfermedades. El diseño experimental fue completamente al azar; los tratamientos fueron las 12 clases texturales conocidas, con cuatro repeticiones, y las variables fueron diferentes características del bulbo de cebolla, como peso, DE, DP, grados Brix, firmeza y peso seco. El suelo franco-arenoso obtuvo los mejores resultados estadísticos en las seis variables de estudio.

Introducción

El cultivo de cebolla es uno de los más importantes a nivel mundial debido a su valor nutricional, por lo que se destina una amplia superficie a su producción. El principal productor es China, mientras que México se ubica entre los 20 países con mayor producción (FAOSTAT, 2022). No obstante, en nuestro país el rendimiento se mantiene por debajo del promedio mundial (SIAP, 2023). Dicho rendimiento depende en gran medida de las

propiedades fisicoquímicas del suelo, ya que la cebolla se adapta mejor a suelos profundos, frescos y ricos en materia orgánica. En contraste, el desarrollo de los bulbos se ve limitado en suelos pedregosos, mal drenados o poco profundos (Zarza et al., 2018). Por lo tanto, se debe elegir un suelo adecuado para su crecimiento, que se mantenga fresco y drenado rápidamente, como los suelos franco limosos y franco arcillosos (Tiscornia, 2018), ya que los suelos de textura franca son suelos con propiedades físicas y químicas con mejor retención de humedad y mayor facilidad de extracción de nutrientes del suelo por parte de la planta (Zhao et al., 2015). Estrada et al. (2015) señalan que el déficit hídrico influye de manera significativa en el llenado del bulbo de cebolla y, en consecuencia, en su tamaño. Este resultado se obtuvo en un estudio realizado con cinco variedades de cebolla bajo tres niveles de humedad. Por su parte, Tambo (2016) indica que la aplicación de biol elaborado a partir de excremento bovino influyó en las características y el rendimiento de dos variedades de cebolla. Los resultados mostraron que la producción de bulbos aumentó con mayores cantidades de biol y con el suministro de riego diario. Además, el sistema de riego por goteo permitió mantener una humedad constante en el suelo y favoreció la reducción de bulbos dobles, lo que incrementa el valor comercial de la cebolla (Angulo-Aguilar, 2023). Con base en la información anterior, el objetivo del presente estudio fue conocer la influencia de diferentes texturas de suelo sobre el rendimiento y calidad del cultivo de cebolla blanca bajo sistema de riego por goteo.

Materiales y métodos

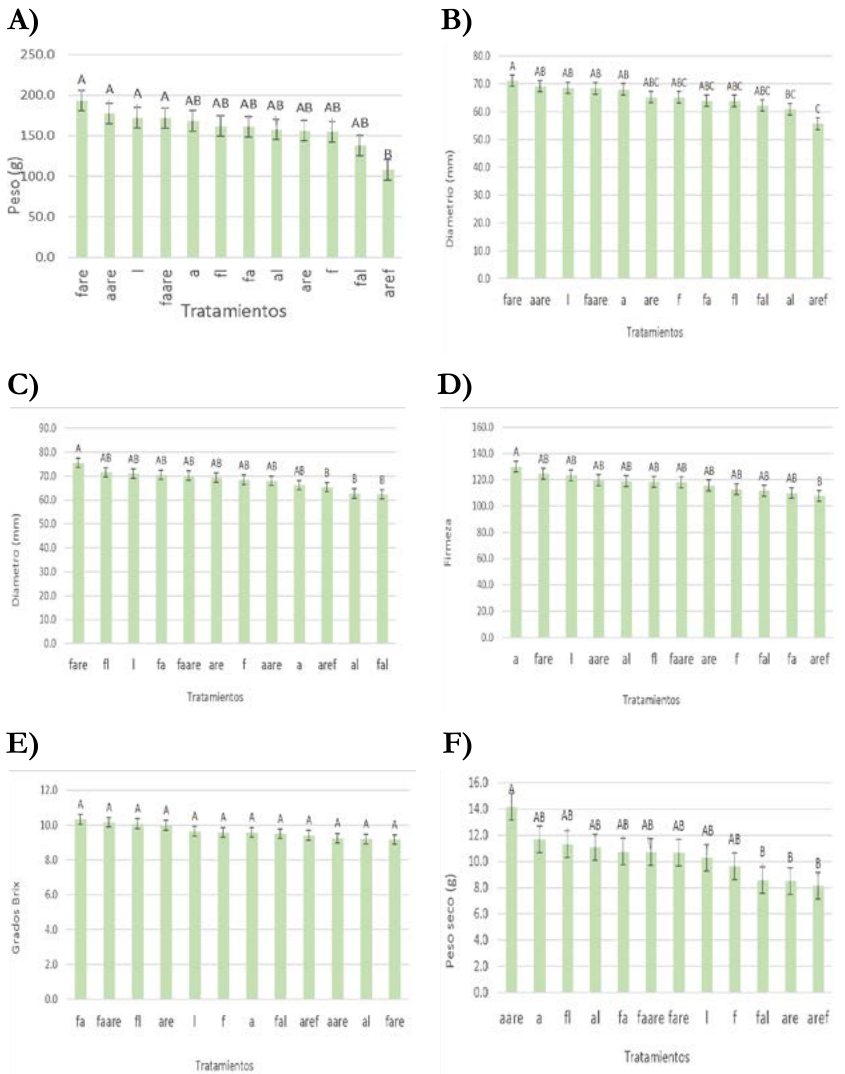
El trabajo de investigación se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, durante el ciclo otoño-invierno del 2023/2024. Para el trabajo se tuvieron las 12 clases texturales de suelo según la USDA (1987), las cuales se consiguieron de diferentes partes de la región de Sinaloa. El suelo se colocó en receptáculos de plástico de dimensiones de 40 cm x 60 cm x 30 cm, con buena filtración; se preparó el suelo con labores culturales, se escarificó, se niveló, se formaron hileras y se mulleron terrones de modo que se permitió el correcto desarrollo del bulbo de cebolla. El cultivo se estableció en un invernadero tipo cenital cubierto en la parte superior con plástico de 65 %

de transparencia y malla antiáfidos a los costados, para evitar influencia de la lluvia y de insectos plaga. El riego fue por goteo mediante cintilla, con separación entre goteros de 20 cm, con un caudal de 1.0 L h^{-1}. Se regó 1 L diario por igual a todas las UE. La siembra se realizó con el uso de cebollín de la variedad Carta Blanca. La separación entre bulbos fue de 12 cm. La fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) se aplicó a través del agua de riego, dado que el suministro de fertilizantes, especialmente de nitrógeno en cualquiera de sus formas, mejora el proceso fotosintético y, como resultado, incrementa la tasa de asimilación neta, la duración del área foliar, el rendimiento y la biomasa (Khanzada et al., 2016). Las mediciones se realizaron después de la cosecha: el peso (g) se obtuvo con una balanza digital, el diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP) de los bulbos se midieron con un vernier digital de precisión milimétrica, los grados Brix se determinaron con un refractómetro y la firmeza con un penetrómetro digital. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar (DCA), donde los tratamientos fueron las 12 clases texturales de suelo, con cuatro repeticiones. El análisis estadístico se realizó con el paquete XLSTAT versión 2022 3.1. (Addinsoft, 2023), incluyendo la comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.5$).

Resultados y discusión

En la Figura 1 se pueden observar los resultados obtenidos, donde, en referencia al peso, el tratamiento FARE fue el mejor, y solo el tratamiento AREF tuvo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de tratamientos. En lo que respecta al DE, el tratamiento FARE nuevamente fue el mejor, y los tratamientos AL y AREF tuvieron diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos. En relación con el DP, nuevamente el tratamiento FARE fue el mejor y presentó diferencias significativas con los tratamientos AREF, AL y FAL. Con la variable firmeza, el tratamiento A fue el mejor estadísticamente, aunque solo presentó diferencia significativa con el tratamiento AREF. Los °Brix no presentaron diferencia entre las texturas de suelo, lo que indica que el contenido de azúcares depende de otros factores. De la variable peso seco del bulbo, tuvo mayor peso el tratamiento AAR, lo que significa que su contenido de humedad es el menor con respecto al resto de tratamientos.

Figura 1. *Relación entre las 12 texturas de suelo y las seis variables de estudio. Donde los tratamientos son las texturas: arenoso (ARE), arenoso-franco (AREF), franco-arenoso (FARE), franco-arcillo-arenoso (FAARE), franco (F), arcillo-arenoso (AARE), franco-arcilloso (FA), arcilloso (A), franco-limoso (FL), franco-arcillo-limoso (FAL), arcillo-limoso (AL), limoso (L). Letras distintas en la parte superior indican diferencias significativas, Tukey (P ≤ 0.05).*



De acuerdo con los resultados obtenidos, estos concuerdan con lo expues-

to por Zarza et al. (2018), quienes enuncian que el cultivo se adapta a suelos profundos y frescos, ricos en materia orgánica, pero son poco tolerantes a suelos pedregosos, mal drenados y poco profundos, ya que los bulbos no se desarrollan adecuadamente. Al observar que los suelos francos son los que tuvieron una mejor diferencia estadística, se coincide con lo observado por Tiscornia (2018), quien sugiere que se debe elegir un suelo adecuado para su crecimiento, que se mantenga fresco y drenado rápidamente. Por otro lado, los suelos franco limosos y franco arcillosos coinciden con lo dicho por Zhao et al. (2015), quienes encontraron que los suelos de textura franca son suelos con propiedades físicas y químicas con mejor retención de humedad y mayor facilidad de extracción de nutrientes del suelo por parte de la planta, lo cual permite un mejor desarrollo del cultivo.

Conclusiones

El cultivo de cebolla presenta mayor rendimiento en el suelo franco-arenoso. Las mejores características de diámetro ecuatorial, diámetro polar, grados Brix y peso seco se registran en el suelo franco-arenoso. Cuando el cultivo cuenta con suficiente humedad, no existen diferencias significativas entre la mayoría de las texturas de suelo. El suelo arenoso-franco es menos favorable para el rendimiento del cultivo de cebolla.

Referencias

Addinsoft (2023). *XLSTAT statistical and analysis solution*. Boston, USA. https://www.xlstat.com.

Angulo-Aguilar, S. D., y Solorzano-Quintana, M. (2023). *Diseño de un sistema de riego y fertirriego por goteo para cultivo de cebolla (Allium Cepa) y papa (Solanum tuberosum) bajo los requerimientos de humedad del suelo determinados con sensores en Finca La Laguna, Tierra Blanca, Cartago.*

Estrada-Prado, W., Lescay-Batista, E., Álvarez-Fonseca, A., y Maceo-Ramos, Y. C. (2015). *Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla*. Agronomía Mesoamericana, 26(1), 112-117.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Dirección de Estadística. (2022). *Producción/Cultivos/Cebolla Seca*. http://

www.fao.org/faostat/es/#data/QC, consultado en enero de 2021.

Khanzada, A. N., Ansari, M. A., Chang, B. H., Rajput, A. M., Magsi, F. H., y Ali, U. (2016). *Evaluating the appropriate timing and splitting nitrogen application rates to improve growth and yield of sunflower* [Traducción propia]. Euroacademia Multidisciplinary Research Journal, 4(7), 5986–6007.

Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP), 2023. *Cierre de la producción agrícola por cultivo.* En Sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON-NG).

Tambo, D. (2016). *Efecto de niveles de biol bovino en dos variedades de cebolla (Allium cepa L.) con riego complementario, en la Estación Experimental Choquenaira, Viacha–La Paz* [Tesis de licenciatura, Nombre de la Universidad]. Repositorio Institucional. .

Tiscornia, R. (2018). *Cultivo de hortalizas terrestres*. ALBATROS 15(6): 68-79.

United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. (1987). *Soil mechanics level 1 module 3: USDA soil textural classification study guide*.

Zarza Silva, HA, Enciso Garay, CR y González Ferreira, FN (2018). *Efectos de la fecha de trasplante sobre el rendimiento de cultivares de cebolla en Paraguay. Horticultura Argentina/Horticultura Argentina* , 37 (93).

Zhao, C. X., Jia, L. H., Wang, Y. F., Wang, M. L., y McGiffen, M. E., Jr. (2015). *Effects of different soil textures on growth and development of peanut* [Traducción propia]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46(18), 2249–2257. .

Capítulo **13**

Conservación de la humedad del suelo utilizando acolchados orgánicos en una región semiárida de México

Delgadillo Ruiz Eladio[1]
Arias Hernández Luz Adriana[27]
Rodríguez Aguilera Aldo Saúl[27]
Ruiz Vázquez Estefanía Belen[27]
Delgadillo Ruiz Lucía[2]
Maldonado Santoyo María[3]
Berumen Cervantes Arturo[4]

[1] División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Col. Centro, Guanajuato C.P. 36000, Guanajuato, México; e.delgadillo@ugto.mx.
[2] Unidad Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. Preparatoria s/n, Col. Agronómica, Zacatecas C.P. 98068, Zacatecas, México.
[3] Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, Omega 201, Col. Industrial Delta, León C.P. 37545, Guanajuato, México.
[4] Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato, Carretera Guanajuato-Puentecillas km. 10.5, Puentecillas, Guanajuato C.P. 36262, Guanajuato, México.

Resumen

La retención y conservación de la humedad del suelo forma parte importante de los componentes del balance hídrico superficial. Para la cuantificación de este componente, se planteó un diseño experimental en bloques completamente al azar, donde los tratamientos se establecieron cubriendo el suelo con paja de avena, bagazo de maguey, polietileno y testigo sin acolchar. En cada uno de ellos se instalaron estaciones de monitoreo de humedad, temperatura y conductividad eléctrica colocadas a una profundidad de 30 centímetros; además, se instaló una estación climatológica. Como resultados, se obtuvieron gráficas en las cuales se distingue que las variaciones con menor retención de humedad en porcentaje fueron para los bloques con paja de avena y testigos, representando un 11 %. En cambio, para los bloques con polietileno y con bagazo de maguey, los porcentajes de retención de humedad fueron mayores, llegando a representar hasta un 32 % en el mes de septiembre para el de tipo bagazo. Finalmente, estos resultados indican que la utilización de materiales vegetales como el bagazo de maguey y la paja de avena es una alternativa sostenible para la conservación del recurso hídrico.

Introducción

La retención de la humedad del suelo en zonas de clima árido y semiárido con dedicación a la agricultura ha sufrido un fuerte cambio en su distribución y comportamiento debido al aumento de la temperatura media anual en los últimos años en el planeta. Algunas de las adaptaciones más importantes incluyen cambios en la gestión y la conservación del agua (Gatkal et al., 2024) que aumenten la producción de alimentos (Iqbal et al., 2020) y la disponibilidad de agua (Devadarshini et al., 2024). Los sistemas de agricultura de temporal sustentables incluyen el uso de mantillos debido al aumento en el volumen de agua disponible para los cultivos y la productividad del agroecosistema, el aumento de la materia orgánica y la conserva-

ción de la humedad del suelo (Zalai et al., 2025) mediante la reducción de la evaporación (Arias et al., 2024) y la escorrentía, la disminución de la erosión, el aumento de la disponibilidad de nutrientes (Gurbuz et al., 2025) y el control biológico de plagas (Winkler et al., 2025). El objetivo de este trabajo fue comparar los efectos del acolchado de paja de avena, el bagazo de maguey y la lámina de polietileno negro en parcelas experimentales de regiones semiáridas del centro de México para determinar la retención de humedad del suelo y la productividad del cultivo de frijol.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio

Se utilizaron las herramientas de sistemas de información geográfica para realizar la caracterización fisiográfica del lugar; en específico, se optó por el software comercial QGIS en su versión 3.30. El sitio experimental se encuentra ubicado en las coordenadas 20°37'35" de latitud norte y 100°21'33" de longitud oeste en el municipio de Querétaro, estado de Querétaro, México, dentro de la cuenca del río Querétaro, que pertenece a una zona templada cálida y con un clima semiárido con precipitación media de 556 mm y temperatura media de 18.9°C..

Diseño experimental

Se llevó a cabo un diseño de bloques completamente aleatorizado de un factor para evaluar el efecto de tres tipos de acolchado en el porcentaje de humedad y temperatura del suelo (variables de respuesta). Las dimensiones de las parcelas individuales fueron de 1 m x 1 m, con tres réplicas para cada una de las propuestas de tratamiento. Los tratamientos del experimento consistieron en sin acolchado (A), paja de avena (B), polietileno negro (C) y bagazo de maguey (D). La paja de avena y el bagazo de maguey se aplicaron con un espesor de 0.10 m después de ser lavados y secados durante 24 horas para evitar la presencia de contaminantes incrustados en el residuo vegetal, y el acolchado plástico (polietileno negro de 100 micras)

se extendió uniformemente sobre la superficie del suelo, excepto en la hilera de la planta de frijol (surco superior). Respecto al cultivo, se seleccionó semilla de frijol flor de mayo (Phaseolus vulgaris L.) sembrado con separación entre hileras de 0.60 m y 0.10 m de separación entre plantas, sin utilizar ningún tipo de fertilizante y tomando en cuenta solamente el agua precipitada, sin incluir ningún tipo de riego extra de agua.

Análisis de suelo

La humedad del suelo y el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) se determinaron de la siguiente manera: se recogieron doce muestras de suelo de manera aleatorias de los 0.20 m superiores. El contenido de humedad del suelo (CHS) se determinó mediante un sensor de humedad tipo ECHO 5TE instalado a una profundidad de 0.30 m. El CHS y la MOS se calcularon como porcentajes del suelo seco y se promediaron para el número de submuestras independientes.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software Statgraphics® Centurion XV.II. Los datos se analizaron mediante métodos no paramétricos, ya que el conjunto de datos no mostró un comportamiento normal con la prueba t de Student. Se aplicaron pruebas ANOVA al diseño de bloques completamente aleatorios.

Rendimiento del cultivo

Finalmente, se recolectó y se pesó el total de materia vegetal producida por cada uno de los tratamientos propuestos, incluyendo la paja y las vainas de frijol, para obtener el peso fresco de la cosecha. Después, fueron secadas en el horno por 48 horas a una temperatura de 50°C para obtener el peso seco final de producción.

Resultados y discusión

Para el diseño experimental, por un lado se colocaron los residuos vegetales de paja de avena y bagazo de maguey como acolchados orgánicos; por el otro, el polietileno negro-negro se colocó como acolchado inorgánico. Para finalizar, se tienen los bloques sin tratamiento que toman la función de testigo.

El contenido de humedad del suelo en general dependió de las condiciones climatológicas y de las diferencias mensuales de humedad del suelo en la capa de 0-0.30 m (sin contar el espesor de la capa de residuo de 0-0.10 m). Asimismo, las condiciones de la temperatura del suelo fueron variables dependiendo del tratamiento correspondiente. En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos para los meses específicos en que se llevó a cabo el experimento.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del porcentaje de humedad del suelo en los diferentes tratamientos de acolchado (polietileno negro, bagazo de maguey, paja de avena) y el testigo (sin acolchado) no cumplieron con los supuestos de la estadística paramétrica. Por lo tanto, se procedió a realizar un análisis de Kruskal-Wallis, seguido de pruebas de contraste múltiple de Mann-Whitney para determinar diferencias estadísticamente significativas entre las medianas. Por otro lado, los datos obtenidos de la temperatura del suelo cumplieron con los supuestos de la estadística paramétrica, por lo que se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los promedios.

Cuadro 1. *Registro de humedad y temperatura media por mes para cada tratamiento.*

Mes	Tratamiento	Humedad a 0-0.30m profundidad (%)	Temperatura a 0-0.30m profundidad (°C)
Septiembre	Sin acolchar (A)	15.962[b]	22.108[b]
	Paja de avena (B)	18.218[b]	20.908[a]
	Polietileno (C)	30.751[a]	26.086[a]
	Bagazo de maguey (D)	32.013[a]	22.092[a]
Octubre	Sin acolchar (A)	11.717[b]	22.302[b]
	Paja de avena (B)	14.985[b]	19.759[a]
	Polietileno (C)	28.896[a]	23.728[a]
	Bagazo de maguey (D)	29.209[a]	20.707[a]
Noviembre	Sin acolchar (A)	12.740[b]	20.204[b]
	Paja de avena (B)	13.918[b]	18.529[a]
	Polietileno (C)	22.973[a]	21.009[a]
	Bagazo de maguey (D)	22.306[a]	19.385[a]
Diciembre	Sin acolchar (A)	11.895[b]	17.700[b]
	Paja de avena (B)	11.359[b]	16.177[a]
	Polietileno (C)	19.094[a]	18.248[a]
	Bagazo de maguey (D)	17.846[a]	16.955[a]

Porcentaje de humedad del suelo. El análisis de Kruskal-Wallis de una vía indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.013$) con un 95 % de confianza entre las medianas del porcentaje de humedad del suelo de los diferentes tratamientos de acolchado evaluados (polietileno negro, bagazo de maguey, sin acolchado y paja de avena). El contraste de medianas de Mann-Whitney mostró que los tratamientos de polietileno negro y bagazo de maguey son iguales y diferentes a los tratamientos sin acolchado y paja de avena. Los valores mostrados de humedad confirman lo analizado por Demo y Asefa en 2024, quienes señalan el aumento en la capacidad de retención de agua en el suelo con el uso de acolchados.

Temperatura del suelo. El análisis de varianza (ANOVA) de una vía no encontró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.304$) con un 95 % de confianza entre los promedios de la temperatura del suelo (°C) de los

diferentes tratamientos de acolchado evaluados (polietileno negro, bagazo de maguey, sin acolchado y paja de avena). El valor ligeramente más alto de temperatura del suelo se encontró en el tratamiento de acolchado de polietileno negro, con un promedio de 22.26 ± DE 3.38, seguido por los tratamientos sin acolchado, bagazo de maguey y paja de avena con promedios de 20.57 ± DE 2.13, 19.78 ± DE 2.18 y 18.84 ± DE 2.02, respectivamente.

Rendimiento del cultivo

Se registraron valores de 1.217, 1.473, 2.57 y 2.978 kg de peso fresco y de 0.337, 0.416, 0.792 y 0.8025 kg de peso seco para los bloques sin acolchar, paja de avena, bagazo de maguey y polietileno, respectivamente, representando un incremento del doble del peso seco y fresco para los tratamientos de bagazo y polietileno en comparación con el testigo. En el caso de la paja de avena, el rendimiento aumentó entre el 20 % en comparación con el bloque sin acolchar.

Conclusiones

El uso de algunos tipos de residuos vegetales aumenta considerablemente la retención de humedad en el suelo durante los períodos de cosecha de frijol, lo que ayuda en los días secos hasta que se producen nuevas aportaciones de humedad, en este caso las precipitaciones. Se han publicado diversas investigaciones sobre el uso de diferentes acolchados (orgánicos, inorgánicos, materiales especiales) y se ha observado en todos los casos un mayor contenido de humedad del suelo en comparación con el suelo desnudo. Sin embargo, en los diferentes tipos de acolchados, la humedad varía en función del tipo de suelo y las condiciones climáticas de la zona de estudio y la capacidad de retención de humedad debido a la porosidad y las propiedades del material.

Referencias

Arias-Hernández, L.A.; Juaristi-Videgaray, E.; Mares-Martínez, H.E.; Solís-Silván, R.; Maldonado-Santoyo, M.; Calderón-Vega, F.; Valdés-Vázquez, J.F.; Delgadillo-Ruiz, E. (2024). *Valoración de acolchados ecoplásticos utilizados para reducir la evaporación en suelos agrícolas*. Cienc. Nicolaita, 91, 1–9. https://doi.org/0.35830/cn.vi91.757

Demo AH and Asefa Bogale G (2024) *Enhancing crop yield and conserving soil moisture through mulching practices in dryland agriculture*. Front. Agron. https://doi.org/0.3389/fagro.2024.1361697

Devadarshini, D., Samal, S., Jena, P. K., y Samantaray, D. (2024). 1*1 Recent Trends in. Advanced Green Technology for Environmental Sustainability and Circular Economy,* 196. https://doi.org/10.1201/9781003517108-11

Gatkal, N. R., Nalawade, S. M., Sahni, R. K., Walunj, A. A., Kadam, P. B., Bhanage, G. B., y Datta, R. (2024). *Present trends, sustainable strategies and energy potentials of crop residue management in India: A review. Heliyon*, 10(21). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39815.

Iqbal, R., Raza, M. A. S., Valipour, M., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Ahmad, S., ... y Nazar, M. A. (2020). *Potential agricultural and environmental benefits of mulches*—a review. Bulletin of the National Research Centre, 44(1). https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3.

Zalai, M., Bujtás, O., Sárospataki, M., y Dorner, Z. (2025). *Grassy and Herbaceous Interrow Cover Crops in European Vineyards: A Review of Their Short-Term Effects on Water Management and Regulating Ecosystem Services*. Land, 14(8). https://doi.org/10.3390/land14081526.

Capítulo **14**

Factores condicionantes para la optimización del riego en chile pimiento bajo condiciones protegidas en el Valle de Elota, Sinaloa

López Avendaño Jesús Enrique[1]
Meléndrez Galaviz Ángel Gerardo[31]
Martínez Gallardo José Ángel[31]
Zazueta Torres Norma Delia[2]
Rodríguez Julio César[3]
Estrada Acosta Mitzi Dayanira[31]
Amarillas Bueno Luis Alfonso[31]
Cruz Bautista Fidencio[33]

[1] Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. profe.jesus@uas.edu.mx.
[2] Instituto Tecnológico de Eldorado.
[3] Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora.

Resumen

Existen diversos factores condicionantes para la optimización del riego; dos de los principales son los coeficientes de cultivo y el factor de abatimiento. Por otro lado, el cultivo de chile pimiento es uno de los más importantes en Sinaloa y particularmente en el Valle de Elota. El objetivo de la investigación consistió en determinar los coeficientes de cultivo y el factor de abatimiento para la optimización del riego en chile pimiento bajo condiciones protegidas en el Valle de Elota. Se establecieron cinco tratamientos con factores de abatimiento de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5; se utilizaron tres repeticiones y se determinó la evapotranspiración de referencia (ET0) del cultivo aplicando la metodología FAO56 y se midió la evapotranspiración del cultivo (ETc) utilizando un lisímetro volumétrico. Para la evaluación se midió la altura de planta y el rendimiento, así como la lámina de agua aplicada, y se determinaron los coeficientes de cultivo. Los resultados para el mejor tratamiento muestran una altura de planta y rendimiento de 100.1 cm y 122.8 t ha-1, respectivamente, con una lámina de agua total medida de 452.1 mm. Se concluye que con la utilización de un factor de abatimiento de 0.1 y coeficientes de cultivo de 0.64, 1.01 y 1.10 para las etapas fenológicas inicial, media y final, respectivamente, se optimiza el riego de chile pimiento en el Valle de Elota, logrando un equilibrio agronómico que mejora las condiciones de crecimiento y producción del cultivo sin comprometer el rendimiento, contribuyendo de esta manera a la sostenibilidad del agua.

Introducción

La escasez de agua en Sinaloa para la agricultura es un problema recurrente, por lo que es necesario optimizar el recurso hídrico buscando el equilibrio agronómico que garantice la sostenibilidad del agua sin comprometer el rendimiento. En este contexto, el conocimiento de factores clave

como los coeficientes de cultivo (Kc) y el factor de abatimiento hídrico (f) determinados localmente es indispensable para la aplicación de métodos eficaces como el de FAO Penman-Monteith (FAO56). México es un país con baja disponibilidad de agua, por lo que resulta imprescindible no solo mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, sino también promover su uso de manera sustentable (Campos y Martínez, 2024). Además, la limitación de los recursos hídricos se ha convertido en uno de los principales problemas de la agricultura, en la medida en que los períodos de sequía son cada vez más recurrentes y prolongados, particularmente en el Valle de Elota, México (Hernández et al., 2023), lo que conlleva poner mayor énfasis en la estimación del consumo real de agua por las plantas en la agricultura. El método FAO56, reconocido universalmente como una herramienta confiable para calcular el consumo hídrico de los cultivos, depende de la determinación precisa de los valores de Kc y f. El objetivo de la investigación consistió en determinar los Kc para las etapas inicial (INI), media (MED) y final (FIN), así como el valor f más adecuado para la optimización del riego de chile pimiento bajo condiciones protegidas en el Valle de Elota.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se llevó a cabo en el noroeste de México con coordenadas geográficas centrales de 23°59´ LN y 106°50' LO. El clima es cálido subhúmedo, precipitación media anual de 790 mm, temperatura media anual de 25°C y extremas de 37.1 y 10.3°C. Como material vegetal se utilizó planta de chile pimiento variedad Trupper. La duración del período de estudio fue de 150 días, desde el 30 de septiembre de 2024 al 26 de febrero de 2025. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones; los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes factores de abatimiento hídrico (f): 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 (Tabla 1). Se establecieron 15 camas (unidades experimentales) de 0.5 m de ancho y 5 m de longitud, con una separación de 1.5 m entre camas. Se utilizó acolchado plástico y para el riego se utilizaron goteros de 1 l h-1 con una separación de 30 cm entre ellos.

Tabla 1. *Tratamientos aplicados en el trabajo experimental.*

Tratamiento	f	Criterio del riego
T1	0.1	Se aplica el riego cuando se consume el **10 % de la HTA**
T2	0.2	Se aplica el riego cuando se consume el **20 % de la HTA**
T3	0.3	Se aplica el riego cuando se consume el **30 % de la HTA**
T4	0.4	Se aplica el riego cuando se consume el **40 % de la HTA**
T5	0.5	Se aplica el riego cuando se consume el **50 % de la HTA**

Para calcular la humedad totalmente aprovechable (HTA) se utilizó la ecuación 1:

$$HTA = \frac{(\theta cc - \theta pmp)}{100} \; P \; Pr \qquad (1)$$

Donde θ_{cc} es el contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_{pmp} es el contenido volumétrico de humedad a punto de marchitez permanente ($cm^3\ cm^{-3}$), P es el porcentaje de suelo mojado (fracción) y Pr es la profundidad radical (mm). La textura del suelo es franco-arenosa con una densidad aparente de 1.33 g cm^{-3}, un contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo (θ_{cc}) de 0.252 $cm^3\ cm^{-3}$ y a punto de marchitez permanente (θ_{pmp}) de 0.132 $cm^3\ cm^{-3}$. Se consideró un valor de 300 mm para Pr y 0.3 para P. La información meteorológica se obtuvo mediante una estación equipada con sensores necesarios para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_0) según la metodología FAO56, con intervalos de tiempo diarios (Allen et al., 2006). Para medir la lámina de agua consumida (LAc) por el cultivo, se instalaron doce lisímetros volumétricos en las camas experimentales, correspondientes a las repeticiones de los cinco tratamientos. Los valores de Kc para cada etapa fenológica se determinaron mediante la ecuación 2:

$$Kc = \frac{LAc}{ET_0} \qquad (2)$$

Donde LAc es la lámina de agua consumida y medida con los lisímetros volumétricos (mm) y ET0 es la evapotranspiración de referencia (mm). La humedad en el suelo se midió con sensores de humedad Watermark ins-

talados a 300 mm de profundidad y el volumen de agua aplicado se midió con un medidor volumétrico instalado en el sistema de riego por goteo utilizado. Para evaluar el crecimiento de la planta, se midió su altura final (cm), mientras que el rendimiento del cultivo (t ha-1) se evaluó al final del período de estudio, mediante cuatro cortes realizados entre los días 126 y 150 después del trasplante (ddt). Además, se registró la lámina de agua consumida y los intervalos de riego para cada tratamiento. A las variables medidas se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05, para lo cual se utilizó el software Infostat®.

Resultados y discusión

La altura máxima de planta (100.1 cm) se alcanzó con el T1 (f=0.1), mientras que la altura mínima (91.8 cm) se obtuvo con el T5 (f=0.5); el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre T1 y T3 (Tabla 2). Mohammed y Hussen (2023) aplicaron diferentes déficits de humedad en el cultivo de chile y encontraron que la mayor altura de la planta fue para el tratamiento sin déficit de riego, lo que coincide con nuestro trabajo, donde la altura mayor se alcanzó con el déficit menor utilizado (f=0.1). Respecto al rendimiento, el T1 (f=0.1) obtuvo un mejor resultado con 122.8 t ha^{-1}, mientras que el menor rendimiento fue para el T5 (f=0.5), lo que coincide con lo reportado por otros autores como Mohammed y Hussen (2023) y Darko et al. (2025). Al trabajar con diferentes déficits de riego, reportaron que el estrés hídrico causado por un déficit de agua sí afecta significativamente el rendimiento del cultivo de chile. La lámina de agua total consumida por el cultivo durante el periodo de estudio fue de 443 mm en promedio, sin diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con un valor máximo de 452.1 mm para T1 y mínimo de 437.5 mm para T3. Darko et al. (2025) reportaron una lámina de agua consumida de 430.8 mm para Chile, mientras que Mohammed y Hussen (2023) determinaron una lámina neta consumida de 485 mm; contrario a lo señalado por Jaramillo et al. (2025), quienes reportaron una evapotranspiración de 1124.4 mm para Chile, un valor considerablemente superior a lo encontrado en este trabajo y a los reportados por otros autores. Los

coeficientes de cultivo (Kc) calculados para las etapas fenológicas inicial, media y final del chile pimiento en el Valle de Elota fueron 0.64, 1.01 y 1.10, respectivamente; estos valores son diferentes a los reportados por López-Avendaño et al. (2015) en el Valle de Culiacán (0.60, 0.86 y 0.66), y por Jaramillo et al. (2025) en el Valle de Loja, Ecuador (0.51, 1.01, 0.85), lo que podría deberse a la metodología empleada para medir la evapotranspiración del cultivo, sistema de producción utilizado y al manejo agronómico del cultivo de chile en ambas regiones.

Tabla 2. *Rendimiento y Lámina de agua*

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Rendimiento (t ha^{-1})	LAc (mm)
T1	100.1	122.8	452.1
T2	98.6	107.3	440.8
T3	99.3	104.7	437.5
T4	94.1	69.4	446.3
T5	91.8	49.4	438.2

Conclusiones

Se concluye que el uso de un factor de abatimiento hídrico (f) de 0.1 y coeficientes de cultivo de 0.64, 1.01, 1.10 para las etapas fenológicas inicial, media y final, respectivamente, permitió optimizar el riego del cultivo de chile pimiento en el Valle de Elota, Sinaloa. Con una lámina de agua de 452.1 mm, se logró una altura de planta de 100.1 cm y un rendimiento de 122.8 t ha^{-1}, alcanzando un equilibrio agronómico que mejora las condiciones de crecimiento y producción del cultivo sin comprometer el rendimiento, contribuyendo así a la sostenibilidad del recurso hídrico.

Referencias

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (2006). E*vapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimenta-*

ción (FAO). Roma, Italia. 56, 1-79.

Campos-Rodríguez, K.M. y Martínez-Prats, G. (2024). *Future scenarios for water management in Mexico: integrated and sustainable approaches.* RevisTAP, 3(1), 437-444. https://revistap.ejeutap.edu.co/index.php/utap/article/view/139

Darko, R.O., Wadie, P.C., Afutu, E., Kissi, N.A., Ackah, F.K., Hanyabui, E. (2025). *Impact of deficit irrigation on sweet pepper (Capsicum annuum var. Simbard) performance: assessing growth, yield, and water use efficiency under a four-day Interval irrigation.* Egyptian Journal of Agricultural Research, 103 (2), 227-243. https://doi.org/10.21608/EJAR.2025.360782.1642

Hernández-Sánchez, L., Medina-Rivas, C.M. y Gómez-Reyes, E. (2023). *Las sequías en la región de Sinaloa y su vínculo con el fenómeno de El Niño. Capítulo 7 en Sequía en México.* Universidad Autónoma Metropolitana. 254. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/12/Red-AgUAM-Sequia.pdf

Jaramillo, J., Reinoso, M., González, A., Cordero, J. (2025). *Estimación del coeficiente de cultivo (Kc) para el cultivo de pimiento mediante lisímetro volumétrico en la zona productiva del sistema de riego Campana-Malacatos*. Bosques Latitud Cero, 15(1), 68-80. https://doi.org/10.54753/blc.v15i1.2366

López-Avendaño, J.E., Díaz-Valdés, T., Watts-Thorp, Ch., Rodríguez, J.C., Castellanos-Villegas, A.E., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T.J. (2015). *Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de chile bell en el Valle de Culiacán, México.* Terra Latinoamericana, 33(3), 209-219.

Mohammed, S. y Hussen, A. (2023). *Influence of deficit irrigation levels on agronomic performance of pepper (Capsicum annuum L.) under drip at alage, Central rift Valley of Ethiopia*. PLOS ONE, 18(11). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280639

Capítulo **15**

Técnica alternativa hidropónica para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en clima cálido extremo

Lucero Vega Gregorio
Troyo Diéguez Enrique
Ruíz Espinoza Francisco Higinio
Monroy Ceseña Marco Antonio

Resumen

En la presente investigación se evaluaron dos sistemas hidropónicos para la producción de lechuga en condiciones de alta temperatura; uno de ellos fue el sistema Técnica de Película Nutritiva (NFT) y un nuevo sistema Columna Vertical de Arena (CVA), el cual tiene la ventaja de mantener la temperatura de la zona radicular más baja que el NFT. En la hora crítica 5:00 p. m., la temperatura de la solución nutritiva (NS), por lo tanto, de la raíz del cultivo en el NFT fue de 30°C, mientras que para la CVA fue de 21.4°C. El cultivo en la CVA obtuvo mayor rendimiento, 38 % más que en el sistema NFT. Los datos anteriores muestran que la CVA tiene potencial para la producción de lechuga en condiciones de temperaturas más elevadas, donde el sistema NFT no tiene buenos resultados por el incremento de la temperatura en la SN.

Introducción

En la actualidad, existe amplio conocimiento para cultivar lechuga en condiciones de hidroponía, principalmente en los sistemas NFT y raíz flotante. Existe otro sistema popular (sistema de sustrato inerte); este se utiliza con menor frecuencia para cultivar lechuga (Guerrero et al., 2014). El NFT y el sistema de raíz flotante funcionan muy bien en climas fríos, con temperaturas alrededor de 13°C durante la noche y 25°C durante el día (Thakulla et al., 2021). En condiciones más cálidas, si la temperatura de la solución nutritiva (SN) supera los 22°C, el cultivo empieza a tener problemas de falta de oxígeno en la raíz, lo que ocasiona muerte parcial o total del sistema radicular (Bartok, 2018; Moccio et al., 2024). Dependiendo del incremento de temperatura en la SN, dicha condición tiene consecuencias desastrosas para el cultivo. Una alternativa para lograr producir lechuga en clima más cálido es un nuevo sistema de producción con sustrato inerte, denominado columna vertical de arena (CVA), que ofrece la ventaja de

mantener más baja la temperatura de la raíz en comparación con el NFT. Dicho sistema brinda la posibilidad de obtener cosecha de lechuga en ambientes con temperaturas de 17°C durante la noche y 32°C durante el día, lo cual con otros sistemas no sería posible. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción de lechuga hidropónica en ambiente cálido con dos sistemas de producción, CVA y NFT.

Materiales y métodos

El proyecto de investigación se realizó en La Paz, BCS, en el Campo Agrícola de la UABCS, coordenadas: 24°06'03.2"N 110°19'02.4"W, en una casa de malla con cobertura de 50 % de sombreado. Se establecieron dos sistemas hidropónicos (tratamientos) para el cultivo de lechuga: el más conocido, NFT, el cual servirá como punto de comparación contra el nuevo sistema propuesto (CVA). Descripción del sistema NFT: Fue elaborado con tubos de PVC hidráulico de 3" de diámetro; consta de cinco tubos de 2.4 m de longitud; la distancia entre centros de tubo y entre hoyos para colocar la planta es de 25 cm. Los tubos tienen doble capa de pintura: una capa color negro para impedir la entrada de radiación solar y una capa externa color blanco. El sistema cuenta con un depósito de 200 L, una bomba sumergible de 45 W, la cual suministra un caudal constante de 2 $L \cdot min^{-1}$ a cada tubo (Figura 1). Descripción del sistema CVA (Figura 2): Es un sistema que consta de varios elementos que interactúan entre sí: un depósito de 200 L, el cual se ubica de forma subterránea y se encarga de almacenar y recibir el agua de drenaje de la CVA; una base inferior, que es una fracción de un tinaco con diámetro de 90 cm y 20 cm de altura y se encarga de contener la CVA, de recolectar el agua de riego y de enviarla por gravedad al depósito de 200 L; en la parte inferior de la CVA, se agregó una capa de grava de 15 cm para sostener la columna de arena de 150 cm de altura. Se usaron dos elementos: una malla de acero (malla electrosoldada calibre 10 con rectángulos de 15*16 cm) que brinda el soporte estructural y, por dentro, una malla antiáfidos de 50 mesh, la cual impide que la arena salga de la columna. La arena (sustrato) fue seleccionada con cernidores; se utilizó aquella con granulometría de 1 a 6 mm. El sistema de riego consta de una bomba sumergible de 45 W y 7 m de cinta de riego

colocada en espiral sobre la columna, con goteros que proporcionan 1 $L \cdot h^{-1}$ cada 10 cm, Figura 2. El sistema de riego operaba solo durante el día, de 8:00 a. m. a 6:00 p. m..

Temperatura del sistema radicular: Para medir la temperatura en ambos tratamientos, se utilizó un termómetro digital HTC-2; se registró un día típico desde las 8:00 a. m. hasta las 8:00 p. m. con lecturas cada hora.

Figura 1. *Sistema NFT, inicio y fin de temporada.*

Figura 2. *Sistema CVA, inicio y fin de temporada.*

El diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos y nueve repeticiones, cada repetición conformada por cinco plantas. El 24 de febrero de 2025, en los dos sistemas se estableció el cultivo de lechuga, plántula de 20 días después de la siembra, variedad (maximus) tipo romana; en cada sistema se establecieron 45 plantas. Las lecturas fueron el día

de la cosecha, el 25 de marzo de 2025. Las variables fueron: número de hojas, largo de la hoja más grande, ancho de la hoja más grande y peso de la parte aérea (rendimiento).

Análisis estadístico: Los datos se analizaron utilizando la prueba t de Student, con el programa PAST 5.2.

Resultados y discusión

Los resultados de la prueba t de Student mostraron diferencia estadística en todas las variables (Cuadro 1). En la variable número de hojas, la diferencia estadística fue altamente significativa ($p< 0.01$), donde el tratamiento NFT fue superior; esta variable no mostró influencia en el rendimiento. En la variable largo de la hoja más grande, la diferencia fue altamente significativa ($p< 0.01$), donde el tratamiento CVA fue superior, ya que esta variable sí mostró relación con el rendimiento. En la variable ancho de la hoja más grande, la diferencia fue altamente significativa ($p< 0.01$), donde el tratamiento CVA fue superior. En la variable rendimiento, la diferencia fue significativa ($p< 0.05$), donde el tratamiento CVA fue superior.

Cuadro 1. *Resultados del análisis estadístico (con la prueba t de Student).*

Variable	Media CVA	Media NFT	"t" calculada	Valor crítico de t (p = 0.05)	Valor crítico de t (p = 0.01)	Significación
Numero de hojas	10.3 (b)	22.0 (a)	7.455	2.119	2.920	**(p<0.01)
Largo de la hoja más grande	21.4 (a)	12.3 (b)	9.095	2.119	2.920	**(p<0.01)
Ancho de la hoja más grande	12.9 (a)	9.8 (b)	3.992	2.119	2.920	**(p<0.01)
Peso por planta (rendimiento)	1 1 8 . 2 (a)	73.2 (b)	2.626	2.119	2.920	* (p<0.05

El largo y ancho de la hoja más grande se expresa en cm y el peso por planta en gramos.

En relación a la temperatura en el sistema radicular, en ambos tratamientos, se tomaron lecturas para un día típico (24/03/2025), las cuales se muestran en la Figura 3, donde podemos apreciar que desde las 11:00 a.

m. en el sistema NFT la temperatura superó los 22°C. Por otro lado, en la CVA la temperatura a esa hora fue de 18.5°C y en el momento más crítico a las 5:00 p. m., en el NFT la temperatura era de 30°C y en la CVA de 21.4°C, una diferencia de 8.6°C. En la presente investigación, el mejor rendimiento que se obtuvo en la CVA fue superior en 38 % al sistema NFT. En la Figura 4 se puede apreciar el tamaño de las plantas de ambos tratamientos. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Thakulla et al., 2021, quienes evaluaron con temperatura controlada en la SN (21.1 °C) y obtuvieron 15 % más de rendimiento en comparación con tratamientos de temperatura ambiente. Unos resultados parecidos fueron los reportados por Levine et al., 2023, quienes trabajaron con diferentes temperaturas de SN en el cultivo de lechuga y reportaron mayor peso en los brotes del tratamiento a 15°C en comparación con el de 35°C, pero menores al tratamiento de 25°C.

Figura 3. *Temperaturas en la raíz de NFT, CVA y temperatura ambiente.*

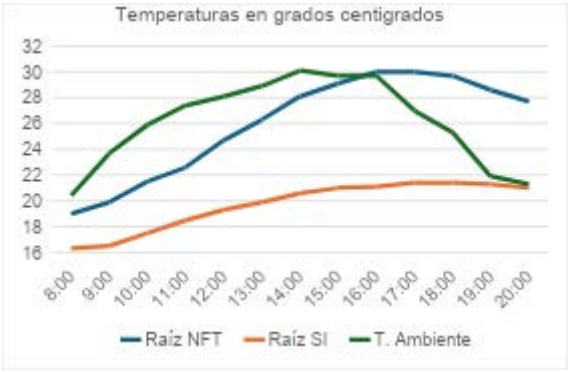


Figura 4. *Cosecha de lechugas, fila superior CVA, fila inferior NFT*

Conclusiones

Se concluyó que el sistema CVA tiene potencial para la producción de lechuga hidropónica en condiciones de alta temperatura, 17 °C durante la noche y hasta 32 °C durante el día.

Referencias

Bartok JR, John W. (2018). *Maintaining hydroponic solution temperature*. Greenhouse Management.

Guerrero, E. M., Revelo, J. C., Benavides, O., Chaves, G., y Moncayo, C. Á. (2014). *Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto*. Revista de Ciencias Agrícolas, 31(1) 3-16.

Levine Christopher P, Hayashi Sota, Ohmori Yoshihiro, Kusano Miyako, Kobayashi Makoto, Nishizawa Tomoko, Kurimoto Ikusaburo, Kawabata Saneyuki, Yamori Wataru. (2023). C*ontrolling root zone temperature improves plant growth and pigments in hydroponic lettuce*, Annals of Botany, 132(3). 455–470. https://doi.org/10.1093/aob/mcad127

Moccio, M., Dunn, BL, Kaur, A., Fontanier, C. y Zhang, L. (2024). *Efectos de la temperatura de la zona radicular de la lechuga hidropónica en el crecimiento de la planta, la absorción de nutrientes y el contenido de vitamina A*. HortScience, 59 (2) 255–257. https://doi.org/10.21273/HORTSCI17560-23

Thakulla, D., Dunn, B., Hu, B., Goad, C., Maness, N. (2021). *Nutrient Solution Temperature Affects Growth and ◦Brix Parameters of Seventeen Lettuce Cultivars Grown in an NFT Hydroponic System*. Horticulturae. 321(7). https://doi.org/ 10.3390/horticulturae7090321

Capítulo **16**

Efecto del riego, aclareo y fertilización, en la maduración del nopal tunero cristalina (*Opuntia ficus-indica*) en el municipio de Pinos, Zacatecas

Santoyo Rodríguez Armando Silvestre[1]
Valtierra Marín Héctor Emmanuel[34]
Delgadillo Ruiz Lucía[2]
Valencia Adame Laura Elvira[34]
Mercado Reyes Marisa[35]
Valdés Romero Eduardo[35]

[1] Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Federal 54 km 15.5, Zacatecas, México.
[2] Unidad Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. Preparatoria, Agronómica, Zacatecas, México. hectorv@uaz.edu.mx.

Resumen

El nopal, nombre común del *Opuntia ficus indica* L., es una planta que está ampliamente distribuida en varios países y regiones del mundo, destacando por su amplia distribución en varios países y regiones de México. Se cultiva principalmente para la producción de sus cladodios y frutas; los cladodios tiernos se usan como verdura y como nopal forrajero, aunque también es utilizado en la agroindustria, para la elaboración de conservas, bebidas, licores, colorantes, aditivos para alimentos y en el área cosmética. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del riego, aclareo y fertilización en la maduración del nopal tunero Cristalina (*Opuntia ficus-indica*) en el municipio de Pinos, Zacatecas, con el propósito de optimizar las prácticas agrícolas y mejorar la calidad y rendimiento del fruto. Para lo anterior, se trabajó en una parcela de nopal tunero para cultivar Cristalina bajo condiciones de temporal en el municipio. Se realizó un estudio factorial de dos niveles con tres factores: el riego, el aclareo de frutos y la aplicación de fertilizante orgánico de caprinos. Los resultados mostraron que el aclareo y la aplicación de abono orgánico no modifican la fecha de maduración; además, no se mostraron interacciones entre las tres variables del estudio. La variable que mostró una diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $p \leq 0.01$) fue la aplicación de riego, que incrementa el rendimiento de la fruta en el nopal tunero, además de adelantar la fecha de maduración de la fruta en siete días.

Introducción

De los 125 géneros que comprende la familia de las cactáceas, 61 están representados en México, 31 en el sur de los Estados Unidos y 51 en países de América Central y Sudamérica (Jacobo, 2002). En México están representados dos subgéneros de opuntia que son: *Cilindropuntia* y *Platyopuntia*, las especies de Opuntia a las que pertenece el nopal tunero, han desarro-

llado adaptaciones anatómicas, morfológicas y fisiológicas para crecer y sobrevivir en ambientes áridos donde el estrés hídrico severo dificulta la supervivencia de otras especies vegetales (Esparza, 2010). Las partes principales de una planta de nopal se pueden dividir en estructuras vegetativas (cladodios, areolas, espinas, gloquidios y raíces) y reproductivas (semilla, flor y fruto) (Gaona et al., 2023). Los nopales se consumen en todo el país; es más alto en la parte central y en las regiones del sureste presentan el menor consumo del nopal, fruta y verdura. Entre los principales productos destacan: frutas, nopalitos y nopal forrajero, principalmente en los estados de Morelos, Estado de México, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Zacatecas, entre otros (SIAP, 2020). Zacatecas ocupa los primeros lugares en producción de fruta con una superficie de 11 mil 868 hectáreas dedicadas a este cultivo; el estado cuenta con un rendimiento promedio de 8.782 toneladas por hectárea de nopal. Con este nivel de producción, es superado por otros estados con mejor nivel de tecnificación en la producción y mejores condiciones climáticas donde se presentan mayores precipitaciones y periodos más largos libres de heladas (Luna et al., 2012; SIAP, 2020). En el municipio de Pinos, Zacatecas, se produce la fruta cristalina, variedad que tiene tamaño grande, buen aspecto general, calidad de fruto y resistencia al manejo poscosecha (Mendoza y Orozco et al., 2019). La producción se obtiene a finales de agosto y durante todo septiembre (SAGARPA, 2010). El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto del riego, aclareo y fertilización en la maduración del nopal tunero Cristalina (*Opuntia ficus-indica*) en el municipio de Pinos, Zacatecas, con el propósito de optimizar las prácticas agrícolas y mejorar la calidad y rendimiento del fruto.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un predio de un lote ejidal en la comunidad de La Lobeña, Pinos, Zacatecas (22°17'49.3"N-101°41'48.5"W). En este predio se tiene una plantación de nopal tunero cristalino con una edad de cuatro años; la distancia entre plantas es de 4 x 4 metros bajo condiciones de temporal y el suelo es del tipo franco arcilloso con 1,63 % de materia orgánica y pH 7.1. Las tres variables empleadas para promover la maduración precoz de los frutos del nopal tunero fueron la aplicación de

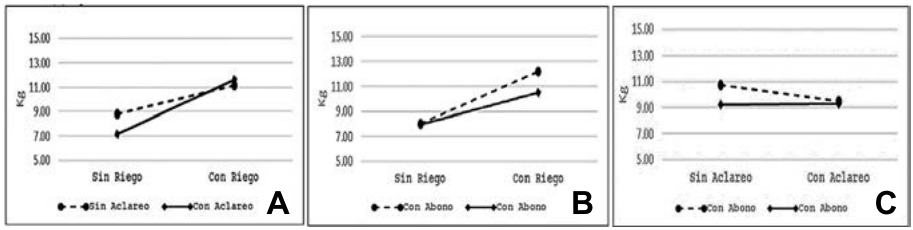
riego, el aclareo de la fruta y la aplicación de abono orgánico de estiércol de caprino. Se aplicó un diseño experimental factorial con tres variables y dos niveles; usará ocho tratamientos con tres repeticiones. En este caso, el experimento fue del tipo factorial 2k. Los dos niveles para cada variable en la aplicación de riego fueron los siguientes: el primer nivel fue sin riego, solamente la precipitación que se registró durante el experimento; el segundo nivel fue con la aplicación de 30 litros de agua por planta cada mes, lo que nos daría una lámina aproximada de 30 mm por riego. Al realizar cuatro riegos en los meses de marzo, abril, mayo y junio, se planeaba tener un riego anual adicional de 120 mm. La precipitación es de un promedio de 338 mm, lo que junto a los 120 mm nos daría 458 mm de agua por año; para el 2023 fue de 373.9 mm (CONAGUA, 2024). Para la variable de aclareo, el primer nivel fue sin aclareo y se dejaron todos los frutos en el cladodio y se registró el número de estos. El segundo nivel fue con un aclareo, dejando solo seis frutos por cladodio, registrando la fecha de aclareo, la cantidad antes y después del aclareo por planta. Para la variable de aplicación de abono orgánico de estiércol de caprino, el primer nivel fue sin la aplicación de abono; el segundo nivel fue con aplicación de diez kg de abono orgánico de estiércol de caprinos. Se registró la fecha de aplicación del abono orgánico.

Resultados y discusión

Los rendimientos en número de frutas en promedio fueron una producción de 64 con una desviación estándar de 8.34 frutas por planta. Para la cantidad de kilogramos de fruta, el promedio fue de 12.47 con una desviación estándar de 1.73 kilogramos por planta. El promedio de los pesos de los ocho tratamientos muestra que el mayor peso fue para el tratamiento 2 con riego, aclareo y sin abono. En cambio, el tratamiento 6 fue el que presentó menor peso; este tratamiento solo tiene aclareo y no tiene riego ni abono. El promedio de la fecha de maduración fue de 143 días desde el inicio del experimento, con una desviación estándar de 7.44 días. La variable que mostró un efecto más significativo (Tukey, $p \leq 0.01$) sobre el rendimiento fue la aplicación de riego, donde se obtuvieron valores de 11.8 kg por planta, que concuerda con otros estudios realizados sobre la

producción de nopal fruta (Zegbe y Mena, 2006). Con la aplicación de abono orgánico y el aclareo, se esperaba que aumentara el rendimiento, pero no tuvo un efecto significativo. Por otro lado, el aclareo de la fruta sobre el rendimiento no presentó diferencia significativa (Tukey, $p \leq 0.01$), pasando de 10.0 kg en las plantas sin aclareo a 9.4 kg en las plantas con aclareo. El efecto de la aplicación de abono orgánico de caprinos sobre el rendimiento de la fruta no mostró diferencias estadísticas significativas sobre el rendimiento (Tukey, $p \leq 0.01$), pasando de 10.1 kg en las plantas sin abono orgánico a 9.3 kg en las plantas con abono orgánico. La figura 1 muestra la interacción de la variable riego con la variable de aclareo. Esta interacción es baja; aunque las plantas que recibieron aclareo junto con la aplicación de riego mostraron un rendimiento ligeramente superior, este incremento en rendimiento fue mínimo y no es significativo (Tukey, $p \leq 0.01$) (Zegbe y Mena, 2006). La interacción de la variable riego con la aplicación de abono orgánico se muestra en la figura 1 (B); esta interacción es negativa, debido a que las plantas que recibieron riego y no recibieron abono orgánico muestran un mayor rendimiento que las que sí lo recibieron. En la figura 1 (C) se muestra la interacción de la variable aclareo con la variable de aplicación de abono orgánico. La interacción con la variable de aplicación de abono orgánico tampoco es significativa al no cruzarse las líneas, dado que las plantas que no recibieron aclareo y no recibieron abono orgánico muestran un mayor rendimiento que las que sí lo recibieron.

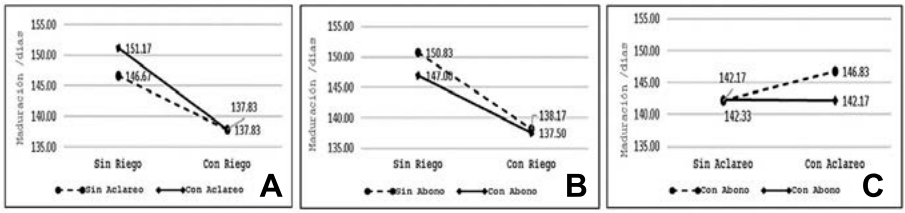
Figura 1. *(A) Efectos en el rendimiento de la interacción de las variables de riego, (B) aclareo y (C) aplicación de abono.*



En la figura 2 (A) se muestra la interacción de la variable riego con la variable de aclareo. La interacción es baja; además de que no existe diferencia estadísticamente significativa, la variable más importante fue la aplicación de riego. La interacción de la variable riego con la aplicación de abono or-

gánico mostrada en la figura 2 (B) no fue significativa, dado que las gráficas no se cruzaron; la fecha de maduración en las plantas con riego es casi igual con o sin la aplicación de abono orgánico. La figura 2 (C) muestra la interacción de la variable aclareo con la variable de aplicación de abono orgánico. La interacción tampoco fue significativa al no cruzarse las líneas, dado que las plantas que sí recibieron aclareo y abono orgánico muestran una fecha de maduración casi uniforme.

Figura 2. *(A) Efecto en la fecha de interacción de la variable riego con la variable de aclareo, (B) interacción de la variable riego con la aplicación de abono orgánico y (C) interacción de la variable aclareo con la variable de aplicación de abono orgánico.*



Conclusiones

El análisis de las tres variables independientes (riego, aclareo de fruto y aplicación de abono orgánico de caprino) evidenció que solo el riego tuvo un efecto significativo sobre la maduración temprana del nopal tunero, además de incrementar el rendimiento de fruta. El aclareo de fruto no mostró efectos significativos en maduración temprana ni en rendimiento. De igual modo, el abono orgánico de caprino no generó impactos relevantes durante el primer año, probablemente por la liberación lenta de nutrientes. La combinación de riego y fertilización ofrece un doble beneficio al productor: aumentar la producción y adelantar la fecha de cosecha, lo que permite aprovechar precios más altos al inicio de la temporada.

Referencias

Conagua. (2022). *Precipitación por Entidad Federativa y Nacional*. Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog %C3 %ADa/Pron %C3 %B3stico %20clim %C3 %A1tico/Temperatura %20y %20Lluvia/PREC/2023.pdf

Esparza Sandoval, S. (2010). *Distribución geográfica del género Opuntia (Cactaceae) en México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio Institucional.

Gaona, E. G., Munguía, A. M. G., Ramírez, J. S. P., Munguía, A. G., y Aguilar, L. P. (s.f.). Características de los nopales. *El nopal: Ecofisiología del nopal en México*. 15.

Jacobo, C. M. (2002). *Caracterización genética de una colección de nopal (Opuntia spp.) de la región centro de México*. Agricultura Técnica en México, 28(1), 3-14.

Luna-Vázquez, J., Zegbe-Domingez, J. A., Mena-Covarrubias, J. y Rivera-Lozano, M. T. (2012). *Manejo de plantaciones de nopal tunero en el altiplano potosino*. INIFAP.

Mendoza-Orozco, M. E., Morales-Flores, F. J. y Méndez-Gallegos, S. d. J., (2019). *Tipología de productores de nopal tunero en Pinos, Zacatecas*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(22), 77-88.

Sagarpa (2010) *Plan rector sistema producto estatal nopal tuna*.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020). *Avance de Siembras y Cosechas Resumen nacional por cultivo*. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do;jsessionid=BC0657BA758C4BBF440035F0956C18E6

Zegbe-Domínguez, J. A. y Mena-Covarrubias , J., (2006) *Modificación de la floración, maduración y época de cosecha del nopal tunero (Opuntia spp.)*. INIFAP.

III

Cultivos hortícolas

Capítulo **17**

Características agronómicas de cebada con riego normal y restringido en el Valle del Yaqui, Sonora

Salazar Huerta Francisco Javier[1]*
Ávila Perches Miguel Angel[2]
Rodríguez Pérez Gilberto[3,6]
Muñoz Valenzuela Sergio[3]
Casas Ramírez Miguel[3,6]
Chávez Bauman Oscar[3,6]
Martínez Flores Luis[4]

[1] Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Sonora. *Autor por correspondencia:franciscosala.huerta@gmail.com.
[2] INIFAP, Campo Experimental Bajío, km 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende, Roque, Celaya, Gto.
[3] Research Seed mexicana de R.L de C.V Tobarito Sonora.
[4] Residente de la Carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable TecNM-ITVY.

Resumen

En México, durante 2024, se establecieron alrededor de 348 695 ha con cebada y se cosecharon poco más de 783 000 t, de las cuales el 85 % se obtiene principalmente en el Altiplano Central en temporal durante el ciclo primavera-verano y el resto se produce en Guanajuato, Chihuahua y Michoacán bajo riego en el otoño-invierno. Los principales estados productores son Hidalgo y Guanajuato, que cosechan el 41,1 % de la producción nacional (SIAP, 2024). La cebada es un cultivo precoz, que requiere menor cantidad de agua para su desarrollo, es tolerante a la salinidad y no presenta problemas de comercialización del grano, ya que existe una industria cervecera en la región, que utiliza la malta para la producción de cerveza y el bagazo como alimento para el ganado. El objetivo del presente estudio fue evaluar los caracteres agronómicos de seis genotipos de cebada con dos calendarios de riego: riego normal (RN) y riego restringido (RR). Existió diferencia estadística significativa entre las variedades y calendario de riego, así como su interacción; los mayores promedios de rendimiento fueron con el calendario de riego normal (RN). El calendario de riego restringido (RR), además de adelantar el desarrollo del cultivo con un menor número de días de espigamiento de las variedades, presentó una disminución en el peso de 1000 granos. Asimismo, se detectó que las variedades de dos y seis hileras Prunella y Alina en los dos calendarios de riego evaluados sobresalieron por sus valores de producción de grano.

Introducción

En la actualidad, los productores más importantes del cultivo de cebada a nivel mundial son Rusia, la Unión Europea, Canadá, Australia y Argentina; se le considera como el cuarto cereal más importante, después de maíz, trigo y arroz. (FAO, 2024). En México, durante 2024, se establecieron alrededor de 348 695 ha con cebada y se cosecharon poco más de 783 000 t; de

estas, el 85 % se obtiene principalmente en el Altiplano Central en temporal durante el ciclo primavera-verano y el resto se produce en Guanajuato, Chihuahua y Michoacán bajo riego en el otoño-invierno. Los principales estados productores son Hidalgo y Guanajuato, que cosechan el 41,1 % de la producción nacional (SIAP, 2024). La agricultura intensiva del Valle del Yaqui, Sonora, se caracteriza por la rotación trigo-trigo, con la aplicación de altas dosis de fertilización nitrogenada y grandes láminas de riego durante el ciclo agrícola otoño-invierno, para obtener altos rendimientos de este cereal. Este sistema de producción se ha relacionado con la disminución del contenido de materia orgánica del suelo y el abatimiento del nivel freático en la región sur de Sonora.

El trigo en el sur de Sonora representa una superficie de 240 000 ha, en la cual se sugiere el calendario de riegos de 0-45-70-90 y 110 días después de la siembra, con un gasto de agua considerable. Por lo cual se buscan cultivos alternativos con adaptabilidad y bajos requerimientos de agua para la región. El cultivo de cebada para malta es una alternativa de producción durante el ciclo agrícola otoño-invierno, ya que, por la precocidad de su ciclo, requiere un menor número de riegos, es tolerante a la salinidad y con buena adaptabilidad a los ambientes de la región (Vera et al. 2002). En nuestro país, hasta hace pocos años, la producción de malta para cerveza se realizaba con cebada de seis hileras en la espiga (*Hordeum vulgare* L.), porque la investigación en mejoramiento genético generó las variedades aptas para muchas regiones con distintas condiciones climáticas y resistencia a plagas y enfermedades y, además, con un alto potencial enzimático. No obstante, en Estados Unidos, Canadá y Europa, es preferida la cebada de dos hileras (*Hordeum distichum* L.), ya que con esta se elabora una mejor cerveza, debido a que presentan granos más gruesos y uniformes, así como una cáscara más fina que la cebada de seis hileras (Navarrete, 2015).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar los caracteres agronómicos y rendimiento en seis variedades de cebada con dos calendarios de riego.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los terrenos del campo experimental del Tecnológico Nacional de México, campus Valle del Yaqui, localizado en el sur de Sonora (27° 41' 54" N, 110° 13' 03" O, y una altitud de 40 msnm) durante el ciclo O-I 2024-25. Se evaluaron seis variedades de cebada con dos calendarios de riego: A1 y A2 (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Variedades e cebada con dos calendarios de riego en el Valle del Yaqui, Sonora*

Variedad	No. de hileras por espiga	Origen y Riego
1.-Guanajuato	dos	INIFAP R
2.-Metcalfe	dos	Francia T y R
3.-Prunella	dos	Canadá T y R
4.-Alina	seis	INIFAP R
5.-Esperanza	seis	INIFAP R
6.-Doña Josefa	seis	ICAMEX T y R

ICAMEX: Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. T: Temporal. R: Riego. F: Forraje

Se establecieron dos calendarios de riego: 0-45-70-90-110 días después de la siembra DDS y RR 0-45-70 DDS, considerados como Riego Normal (RN) y el Riego Restringido (RR) respectivamente. En cada ambiente se evaluaron seis variedades de cebada, tres variedades de seis hileras (6H) en la espiga: Alina, Esperanza y doña Josefa. Y tres de dos hileras (2H): Guanajuato, Metcalfe y Prunella. Todos los materiales genéticos fueron formados por el INIFAP, a excepción de los dos últimos, que son del extranjero. Todos los cultivares evaluados son para uso maltero (Cuadro 1).

Las variedades dentro de cada calendario de riego (RN) y (RR) se manejaron en un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones y arreglo en parcelas comparativas. Se empleó una densidad de 100 kg de semilla por ha. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 20 m de largo y 80 cm de separación, sembrados a doble hilera con separación de 20 cm entre hileras, mientras que la parcela útil fueron los dos surcos centrales

de 20 m. Se eliminaron 5 m de cada lado de la parcela y se tomaron cuatro muestras de 1 m² por parcela. Esta siembra se realizó el 1 de diciembre de 2024 y se fertilizó con la fórmula 160-00-00 de NPK, respectivamente, para lo cual se utilizó urea. El fertilizante se aplicó en forma fraccionada al momento de la siembra y durante el primer riego de auxilio. El resto del manejo agronómico se realizó de acuerdo a las recomendaciones del INIFAP para la región. Se determinaron las siguientes características agronómicas: Rendimiento de grano (RG), días a espigamiento (DE) y peso de 1000 granos (PMG). Con los resultados de los calendarios de riego (RN y RR) se realizaron análisis estadísticos combinados, para lo cual se utilizó el programa SAS; cuando las diferencias fueron significativas, se empleó la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad.

Resultados y discusión

Se detectaron diferencias significativas en las fuentes de variación en los tres caracteres estudiados. Sin embargo, por la proporción de los cuadrados medios de los análisis de varianza (ANVA), resalta la relevancia de los calendarios de riego (RN y RR). Los coeficientes de variación (CV) tuvieron valores menores al 10 %, lo cual se considera aceptable e indicativo de la confiabilidad de los resultados (Cuadro 2).

Cuadro 2. *Cuadrados medios de los análisis de varianza de tres caracteres agronómicos de seis variedades de cebada con dos calendarios de riego en el Valle del Yaqui, Sonora.*

Fuentes de variación	**RS (kg/ha)**	**DE (días)**	**PMG (g)**
Variedad (V)	135591.85	845.25	71.81
Calendario de riego (CR)	245531.02	260.17	552.07
VxCR	36278.35	2.53	18.72
CV	9.7	8.3	8.6

Cuadro 3. *Comparación del promedio de rendimiento de semilla y características agronómicas de seis variedades de cebada con dos calendarios de riego en el Valle del Yaqui, Sonora.*

Variedad	RS (kg/ha)	DE (días)	PMG (g)
1.-Prunella (2)	6554	87	52.8
2.-Alina (6)	6469	59	52.5
3.-Guanajuato (2)	5541	80	50.5
4.-Metcalfe (2)	5492	79	51.5
5.-Doña Josefa (6)	5468	70	48.9
6.-Esperanza (6)	5148	67	45.1
DMS	97.5	1.3	1.9

El promedio de rendimiento de los dos calendarios de riego (Cuadro 3): sobresalieron las variedades Prunella y Alina con 6554 y 6469 kg respectivamente. El buen rendimiento de Alina también fue reportado por Pérez et al. (2016); para los días a espigamiento (DE), Prunella, Guanajuato y Metcalfe presentaron 87, 80 y 79 días y fueron los más tardíos. En relación al peso de 1000 granos (PMG). Prunella, Alina y Metcalfe fueron las más altas con 52.8, 52.5 y 51.5 cm, respectivamente. Es importante comentar que los días a espigamiento fueron más en las variedades de dos hileras, es decir, son variedades más tardías, lo cual coincide con Ríos et al. (2011), Ávila et al. (2020) y Ávila et al. (2021).

Cuadro 4. *Efecto de las fechas de siembra en el rendimiento, días a espigamiento y peso de mil granos de cebada en el Valle del Yaqui, Sonora.*

Calendario de Riego	Rendimiento de semilla (RS)	Días a espigamiento (DE)	Peso de 1000 granos (PMG)
0,45,70,90 y 110 (RN)	6500a	75.4a	52.6a
0,45 y 70 (RR)	5069b	71.2b	46.5b
DMS (0.05)	763	0.81	1.9

El mayor rendimiento de grano (RG) se observó en el calendario de riego normal (RN) 0,45,70,70,90 y 110, que promedió más de 6500 kg ha^{-1} (Cuadro 4). Es importante señalar que los menores valores de rendimiento se presentaron con el calendario de riego restringido (RR) con 5069 kg; el más alto rendimiento de semilla con el calendario de riego normal coincide con lo reportado por Ávila et al. (2024).

Conclusiones

- Prunella y Alina presentaron en promedio los rendimientos de grano más altos.
- El calendario de riego normal presentó en promedio un 22 % más de rendimiento de semillas comparado con el riego restringido.
- Guanajuato, Prunella y Metcalfe presentaron mayores días a espigamiento, por lo cual son consideradas variedades de ciclo largo.
- Esperanza y doña Josefa presentaron el rendimiento y el peso de mil granos más bajos.

Referencias

Ávila-Perches, M., Huerta-Zurita R., Gámez-Vázquez., J., Jesús; Zamora-Díaz, M., Gámez-Vázquez., F. (2020). *Comportamiento agronómico de variedades de cebada en diferentes fechas de siembra.* In Memoria de la XXXII Semana Internacional de Agronomía FAZ. 178-183 http://faz.ujed.mx/siafaz/

Ávila-Perches, M., Huerta-Zurita, R., Gámez-Vázquez, J., Zamora-Díaz, M., Gámez-Vázquez, F. (2021). *Calidad física y contenido de proteína de semilla de cebada en diferentes fechas de siembra.* In Memoria de la XXXIII Semana Internacional de Agronomía FAZ, 271-277. http://faz.ujed.mx/siafaz/

Ávila-Perches, M., Huerta-Zurita, R., Gámez-Vázquez, J., Zamora-Díaz, M., Gámez-Vázquez, F (2021). *Componentes del rendimiento de semilla de variedades de cebada.* In Memoria de la XXXIII Semana Internacional de Agronomía FAZ. 337-342. http://faz.ujed.mx/siafaz/

Ávila Perches, M.A; Gámez Vázquez, J.A; Zamora Díaz, M.R; Gámez Vázquez, F.P. y Gómez-Espinoza, J (2024). *Rendimiento y características agronómicas de cebada con riego normal y restringido.* In Memoria de la XXXVI Semana Internacional de Agronomía Facultad de Agricultura y Zootecnia. 966-972.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). www.fao.org/faostat

Mendoza-Esparza, M., Cortez-Bueno, J., Rivera-Ramírez, J., Rangel-Lugo, L., Andrio-Enriquez, E., Cervantes-Ortiz, F. (2011). *Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (X Triticosecale Wittmack)*. Agronomía Mesoamericana, 22(2), 309-316.

Pérez-Rodríguez, J., Zamora-Diez, M., Mejía-Almada, J., Hernández-López, F., Solano-Heras, F. (2016). *Evaluación de 10 genotipos de cebada (Hordeum vulgare L.) en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas.* Agro ciencia 50, 201-213.

Ríos-Duran. R., Brito-Ramírez, R., Delgado-López, H. (2011). *Evaluación del rendimiento y sus componentes en genotipos de cebada (Hordeum vulgare L.) diferenciados por su tipo de espiga y grano.* Revista. U.D.C.A Act. y Div. Científica 14(2) 55-63.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. www.siap.gob.mx

Capítulo **18**

Efecto de las soluciones nutritivas en el crecimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*)

Cruz Crespo Elia[1]
Can Chulim Álvaro[40]
Pérez Robles Karina[40]
Tapia Varela José Raúl[2]
Ramos Ramírez Lesset del Consuelo[3]
Medina Carrillo Raquel Enedina[42]
Jiménez Meza Víctor M.[40]

[1] Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, México.
[2] Correo autor de correspondencia: elia.cruz@uan.edu.mx. Secretaria de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, México.
[3] Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas, Universidad Autónoma de Nayarit.

Resumen

En el crecimiento de una planta, un factor relevante es el suministro de elementos esenciales, los cuales se pueden suministrar a través de una solución nutritiva específica. El objetivo de la investigación fue comparar el crecimiento y la producción de biomasa de plantas de maracuyá amarillo para trasplante en campo por efecto de las soluciones nutritivas de Steiner y Hoagland en diferentes concentraciones. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (solución Hoagland, solución Steiner x [concentración 50, 75, 100 y 125 %]) con 30 repeticiones que se dispusieron en hileras en condición de invernadero. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, biomasa fresca y seca total con contenido de N, P y K. Los resultados indicaron que con la solución de Hoagland al 100 y 125 % se obtuvieron los valores más altos para las variables: altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, biomasa fresca y seca total. Se concluyó que para el mayor crecimiento y producción de biomasa de maracuyá amarillo para trasplante en campo fue con la solución de Hoagland al 100 % y 125 %.

Introducción

En México se incrementó la superficie sembrada de 98 ha (2015) a 573 ha (2023) de cultivo de maracuyá (SIAP, 2015; SIAP, 2023). En Nayarit, se tiene registro de 30 ha sembradas con una producción de 774 t, lo que lo ubica en segundo lugar a nivel nacional (SIAP, 2023). No obstante, se carece de información científica para su cultivo de acuerdo a las condiciones de las zonas de producción, por lo que los productores o técnicos retoman información de otros países o de otros cultivos. La nutrición del cultivo es fundamental para el éxito del crecimiento y el rendimiento. Una forma de evaluarla es mediante la experimentación con distintas soluciones nutritivas a diferentes concentraciones, en un medio inerte y en diversas etapas de desarrollo; los resultados obtenidos también pueden ser útiles para establecer dosis de fertilización tanto en suelo como en sustratos (Di Benedetto

y Tognetti, 2016). En el cultivo de plantas, las soluciones nutritivas más utilizadas son la de Steiner (1984) y la de Hoagland y Arnon (1950), donde la solución de Steiner es la más usada en diferentes concentraciones y con resultados positivos como en tomate (Luna-Fletes et al., 2021). El objetivo de la investigación fue comparar el crecimiento y la producción de biomasa de plantas de maracuyá amarillo para trasplante en campo por efecto de la concentración de las soluciones nutritivas de Steiner y Hoagland.

Materiales y métodos

Se estableció el experimento en un invernadero con ventilación cenital y lateral, ubicado en Xalisco, Nayarit. Se definieron ocho tratamientos, los cuales fueron solución de Steiner (SS) en las concentraciones 50, 75, 100 y 125 %, y la solución de Hoagland (SHo) en las mismas concentraciones. Se utilizó semilla de maracuyá amarilla (Passiflora edulis). En marzo de 2023 se sembró una semilla por cavidad de charolas de unicel de 200 cavidades, las que contenían el sustrato Sunshine® mezcla 3. Después, se regó con agua, y una vez que se presentó la emergencia, se regaron charolas con solución Steiner (1984) y otras con solución de Hoagland (1950) al 25 %. A los 55 días después de la siembra, se trasplantó una planta por maceta de polietileno negro calibre 400 de 35 x 35 cm con pumita como sustrato; después se inició el riego con las soluciones nutritivas de Steiner o Hoagland en la concentración de acuerdo al tratamiento. Para la preparación de la solución de Steiner se utilizaron los fertilizantes: sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico, nitrato de potasio, nitrato de calcio; para la solución de Hoagland se utilizaron los mismos fertilizantes, a excepción del sulfato de potasio, y se incluyó el nitrato de amonio. Los microelementos se suministraron con el producto Ultrasol micro®. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial y el número de repeticiones fue 30 veces. La unidad experimental fue una planta por maceta.

Variables evaluadas. Las variables se midieron a los 80 días después del trasplante (ddt). Altura de la planta: Se midió de la base del tallo hasta la yema apical (cm). Diámetro de tallo: Se midió 10 cm arriba de la base del tallo con un vernier digital. Área foliar: En las hojas de la parte media de la planta se midió el área foliar mediante un integrador de área foliar. Biomasa fresca y seca total de la parte aérea: La planta se cortó a nivel de sus-

trato y se pesó en una balanza electrónica; después, en bolsas de papel, se secaron en una estufa con circulación de aire a 65 °C hasta peso constante. Contenido de N, P y K: Se realizó en la materia seca foliar de acuerdo a Alcántar y Sandoval (1999). Análisis estadístico: A los datos se les aplicó el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias por Tukey (P = 0.05), esto mediante el paquete estadístico SAS.

Resultados y discusión

Las soluciones nutritivas SHo125 y SHo100 estimularon la mayor altura (Cuadro 1). En relación al diámetro de tallo, se observó que con SHo125 se obtuvo el valor más alto (Cuadro 1). En el área foliar, el tratamiento más sobresaliente fue SHo125 y le siguió SHo100 (Cuadro 1). Por otra parte, los tratamientos SS50, SS125, SHo50 y SHo75 fueron los que mostraron menor área foliar.

Cuadro 1. *Variables evaluadas en planta de maracuyá cultivada con solución de Steiner y solución Hoagland en diferentes concentraciones, a los 80 ddt.*

SN	AP (m)	DT (mm)	AF (cm^2)	BFTO (g)	BSTO (g)	N ($g\ kg^{-1}$)	P ($g\ kg^{-1}$)	K ($g\ kg^{-1}$)
SHo50	1.58 b	6.30 b	2635.3 c	56.42 bc	15.99 cd	25.78 c	2.85 b	31.21 ab
SHo75	1.77 b	6.70 ab	2619.1 c	90.44 ab	25.00 abcd	28.21 bc	3.50 a	30.94 ab
SHo100	2.08 a	6.75 ab	3081.1 ab	105.55 a	29.35 a	34.51 a	3.43 a	30.92 ab
SHo125	2.07 a	7.36 a	3138.2 a	96.56 ab	28.11 ab	31.41 ab	3.52 a	30.62 ab
SS50	1.35 c	6.19 b	2510.3 c	43.83 c	10.60 d	24.78 c	2.82 b	32.54 ab
SS75	1.76 b	6.73 ab	2752.2 bc	64.42 bc	18.06 bcd	27.55 c	2.81 b	33.21 a
SS100	1.73 b	6.16 b	2784.6 abc	73.56 abc	19.99 abcd	27.55 c	2.92 b	30.61 ab
SS125	1.42 c	6.36b	2688.0 c	43.56 c	10.93 d	31.74 ab	3.29 a	30.28 b
CV	4.76	4.26	4.88	14.46	14.25	4.61	3.80	3.27
DSH	0.233	0.7922	384.18	41.087	11.145	3.7777	0.3384	2.9011

*Medias con misma letra dentro de columna son significativamente iguales. DSH = diferencia significativa honesta; CV = coeficiente de variación; SHo = solución de Hoagland; SS = solución de Steiner. AP=altura de planta, DT= diámetro de tallo, BFTO= biomasa fresca total, BSTO= biomasa seca total. SN =solución nutritiva.

La biomasa fresca total fue mayor con la solución SHo100 y los tratamientos SS50 y SS125 obtuvieron el menor valor (Cuadro 1); la biomasa seca total tuvo tendencia similar a la biomasa fresca. El contenido de N fue mayor con la solución SHo100, y le siguieron SHo125 y SS125; la concentración de P fue mayor en SHo75, SHo100, SHo125 y SS125 en relación con el resto de los tratamientos; la concentración de K fue similar en la mayoría de los tratamientos, a excepción de SS75, que obtuvo el mayor valor (Cuadro 1). Los resultados de las variables mostraron respuesta diferente ante la aplicación de la solución nutritiva de Steiner y de Hoagland. La respuesta de un cultivo a las aplicaciones de soluciones nutritivas es variable, como lo muestra Miranda-Villagómez et al. (2014), donde a los 145 ddt la altura de Freesia x hybrida fue mayor con la solución de Steiner al 25 y 50 % en relación a 75 y 100 %, en tanto que el área foliar obtuvo los valores más altos con la solución al 50 y 75 %, mientras que con 100 % se obtuvo la menor área foliar.

En cambio, en cultivo de *physalis peruviana*, la mayor cantidad de biomasa y área foliar se obtuvo con la solución de Steiner a 100 y 150 % (Aguilar-Carpio et al., 2018). Por otra parte, la respuesta de las plantas de maracuyá con las soluciones SHo100 y SH125 en contraste con las demás, en particular con SS100 y SS125, se explica en parte por la diferencia en el total de iones, lo que resultó en diferente conductividad eléctrica (CE). La CE en SS100 fue mayor en 6,25 % en contraste con SHo100. Según González-Jiménez et al. (2020), en cultivo de zarzamora (*Rubus* spp.) incrementaron la CE de 2.2. a 2.4 dS m^{-1}, y observaron que se disminuyó el valor de la biomasa total y la producción de fruto por planta. También, la diferencia en la concentración de N entre las soluciones nutritivas de Hoagland y Steiner (15 y 12 meq L^{-1}, respectivamente) puede explicar las diferencias en el crecimiento de las plantas de maracuyá. Según Flórez (2021), el nitrógeno (N) es el que tiene el mayor impacto en el crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con los demás nutrimentos.

Conclusiones

El mayor crecimiento y producción de biomasa total de plantas de maracuyá amarillo para trasplante en campo se obtuvo con la solución de Hoagland en las concentraciones al 100 y 125 %. Aunque es más conveniente hacer uso de la concentración al 100 % dada la menor cantidad de fertilizante a utilizar para su preparación.

Referencias

Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I. H., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M., y López-Martínez, V. (2018). *Análisis de crecimiento de uchuva (Physalis peruviana L.) cultivada en hidroponía e invernadero.* Revista Chapingo Serie Horticultura, 24(3), 191-202.
DOI: http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.07.024

Alcántar González G., Sandoval Villa M. 1999. *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación*. Publicación Especial No. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, México.

Di Benedetto, A., y Tognetti, J. (2016). *Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos*. RIA, 42(3), 258-282. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_issuetocypid=1669-231420160003yln-g=esynrm=iso

Flórez R., V. J. 2021. *Productos relevantes del proyecto fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca*. Primera edición. Ediciones Unisalle. Bogotá, Colombia.

González-Jiménez, S. L., Castillo-González, A. M., García-Mateos, M. R., Valdez- Aguilar, L. A., Ybarra-Moncada, C., y Avita-García, E. (2020). *Respuesta de zarzamora (Rubus spp.) cv. Tupy a la salinidad*. Revista Fitotecnia Mexicana, 43(3), 299-306. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.299

Hoagland, D. R., Arnon, D. I. 1950. *The water-culture method for growing plants without soil*. California Agricultural Experiment Station, 347, 1-32.

Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., y Can-Chulim, A. (2021). *Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry*. Terra Latinoamericana, 39, 1-12. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781

Miranda-Villagómez, E., Carrillo-Salazar, J. A., Rodríguez-Mendoza, M. N., Colinas- León, M. T., Livera-Muñoz, M., y Gaytán-Acuña, E. A. (2014). *Crecimiento y calidad del tallo floral de Freesia x hybrida en hidroponía.* Revista Fitotecnia Mexicana, 37(1), 31-39. https://revistafitotecniamexicana.org/37-1.html

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2015). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). A*nuario estadístico de la producción agrícola.* https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Steiner, A. A. (1984). *The universal nutrient solution. Memories VI International Congress on Soilles Culture*. Wageningen, The Netherlands.

Capítulo **19**

Caracterización agronómica y forrajera de líneas de cebada maltera en el Valle de Mexicali

Lemus Romero Sebastián[1]
Joya Dávila José Gregorio[43*]
Salazar Navarro Alexis[43]
Basilio Cortes Ulin Antobelli[43]
Zavala Molina Federico[43]
Serrano Gómez Leslie Alondra[2]
Alvarado Padilla Jorge Iván[3]
Tzintzun Camacho Olivia[43]
González Mendoza Daniel[43]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera.. Delta Oaxaca s/n C.P. 21705. *Autor de correspondencia: jose.joya@uabc.edu.mx.
[2] Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez.
[3] 3INIFAP, Campo Experimental Valle de Mexicali. Carretera a San Felipe, Km 7.5 Mexicali, Baja California.

Resumen

El presente estudio caracterizó propiedades agronómicas y forrajeras de seis genotipos de cebada maltera (espiga con dos hileras) cultivados en el Valle de Mexicali, con el objetivo de identificar materiales con alta adaptabilidad y rendimiento en peso y calidad de grano. Se midieron el peso total (PT), número de tallos por metro cuadrado (Tmc), peso total de espiga (PE), residuo de espiga (RE), peso de granos (PG) y peso de 100 granos (P_{100}). Se observaron diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) en la mayoría de las variables evaluadas, destacando los genotipos 8 y 19 por su mayor producción de peso y rendimiento de grano, mientras que el genotipo 2 presentó los valores más bajos en varios parámetros productivos. Estos hallazgos evidencian la existencia de variabilidad genética aprovechable para la selección de genotipos con alto potencial productivo y resistencia a condiciones agroclimáticas adversas propias de la región.

Introducción

La cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) constituye una alternativa estratégica para regiones áridas por su ciclo corto, tolerancia a estrés abiótico y capacidad de adaptación a suelos salinos y arcillosos, como los presentes en el Valle de Mexicali (González et al., 2016). Esta adaptabilidad favorece su desarrollo en entornos marginales, donde otros cultivos muestran limitaciones productivas. Además, su doble funcionalidad como producción de grano para malteado y uso del residuo como forraje favorece la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas (González et al., 2016; Zamora Díaz et al., 2017). Adicionalmente, la cebada maltera responde a una creciente demanda del sector cervecero artesanal, mientras que sus subproductos pueden integrarse de forma eficiente en la alimentación pecuaria local, optimizando el uso de los recursos disponibles (García, 2022). Por ello, evaluar su rendimiento tanto en la producción de grano como en

la generación de biomasa forrajera resulta de particular relevancia, tanto desde una perspectiva agronómica como económica. En este contexto, el presente estudio se centra en la evaluación agronómica y forrajera de seis genotipos de cebada maltera sembrada a doble hilera en condiciones representativas del Valle de Mexicali, con el objetivo de identificar genotipos con óptima adaptación a condiciones arcillosas y salinas que permitan una doble utilidad del cultivo: grano de calidad para malteado y biomasa adicional como suplemento forrajero.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California. La siembra se efectuó el 22 de diciembre de 2024 en un suelo con textura arcillosa y pH 8.7. Se evaluaron seis genotipos de cebada maltera (espiga de dos hileras), en etapa experimental, proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La siembra se realizó manualmente utilizando una sembradora de rodillos (ACME-Agro AM-001/20F, China). Se depositaron aproximadamente 27 ± 2 semillas por cada sitio de siembra, con una separación de 0.2 m entre sitios ~270 ± 20 semillas/m^2 (Khanal et al., 2022). El arreglo consistió en doble hilera por surco (4 repeticiones), establecida en surcos de 20 m de largo y separación de 1 m entre surcos, tomando como referencia la parte central, ancho de calle 0.4 m. Previamente a la siembra, se aplicó una fertilización de fondo de 50 kg ha^{-1} de 15-15-15 y 100 kg ha^{-1} de MAP, ambos localizados en el centro del surco. Durante el ciclo se realizaron tres riegos por gravedad, alcanzando la altura del lomo del surco. El volumen aplicado en cada riego por tratamiento fue equivalente a 1.8 m^3 por evento. En el segundo riego se incorporaron 200 kg ha-1 de urea (46 % N). Se realizó una sola aplicación del herbicida 2,4-D cuando las malezas presentaban las primeras hojas verdaderas. No se realizaron aplicaciones de fungicidas ni insecticidas. El diseño experimental fue completamente al azar. Se evaluaron las siguientes variables: peso total aéreo a madurez fisiológica (PT), número de tallos por metro cuadrado (Tmc), peso total de espiga por planta (PE), porcentaje de residuo de espiga (RE), peso de granos m^{-2} (PG); se tomaron 10 sitios de

1 m² y peso de 100 granos [P_{100}] (González-González et al., 2016; Caluguillin y Chalampuente, 2023). El análisis estadístico incluyó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para identificar diferencias significativas entre genotipos, utilizando el software Statgraphics Centurion XVII.

Resultados y discusión

El peso total (PT) presentó variaciones significativas entre genotipos (Cuadro 1). El genotipo 19 alcanzó el valor más alto, seguido del genotipo 8 y del genotipo 4, lo que sugiere un mayor potencial de producción forrajera en estas líneas. Esta superioridad en peso total en los genotipos 19 y 8 coincide con estudios previos donde genotipos con mayor macollamiento y eficiencia fotosintética producen más biomasa, lo cual es especialmente valioso para sistemas integrados en regiones áridas como el Valle de Mexicali (Velasco López et al., 2020). En cuanto al TMC, el genotipo 19 también presentó la mayor densidad, evidenciando un alto índice de macollamiento, seguido de los genotipos 3, 1 y 4. Esto indica que el 19 combina alta producción de biomasa con elevada capacidad de macollar, aunque un mayor número de tallos no siempre se traduce en más rendimiento de grano si la proporción de tallos fértiles es baja (Carretto et al., 2024).

El peso total de espiga mostró diferencias significativas, con el valor más alto registrado en el genotipo 8, seguido de los genotipos 2 y 19. Este parámetro se asocia con la capacidad de llenado de grano y la arquitectura de la espiga. En el porcentaje de residuo de espiga no se observaron diferencias estadísticas significativas, aunque los menores valores correspondieron a los genotipos 4, 1 y 8, lo que representa una mayor proporción de material utilizable (grano). Un mayor peso de espiga suele reflejar un mejor llenado y mayor potencial de rendimiento, atributos fundamentales para la calidad maltera. La variación en residuo, aunque no significativa, puede influir en la eficiencia del aprovechamiento forrajero, donde menores residuos favorecen la digestibilidad del forraje (Fierro et al., 2024).

Cuadro 1. *Características agronómicas y forrajeras de seis genotipos de cebada maltera de dos hileras en el Valle de Mexicali.*

Genotipo	PT (kg/m^2)	Tmc	PE (g)	RE (%)	PG (kg/m^2)	P_{100} (g)
CEMEXICA-18	1.9 ± 0.2 a	8 8 8 ± 59 a	1.6 ± 0.16 abc	17.3 ± 1.9 a	0.68 ± 0.08 ab	42.4 ± 1.3 c
CEMEXICA-10	1.8 ± 0.3 ab	676 ± 94 bc	1.7 ± 0.16 a	15.5 ± 2.6 a	0.74 ± 0.10 a	51.7 ± 0.6 a
CEMEXICA-17	1.2 ± 0.1 c	565 ± 69 c	1.7 ± 0.09 ab	15.8 ± 2.5 a	0.48 ± 0.03 c	46.6 ± 2.1 b
CEMEXICA-14	1.4 ± 0.2 bc	793 ± 164 ab	1.4 ± 0.18 c	20.6 ± 10.6 a	0 . 4 8 ±0.05 c	42.9 ± 1.6 c
CEMEXICA-7	1.7 ± 0.2 abc	750 ± 95 abc	1.4 ± 0.12 bc	13.6 ± 3.6 a	0.53 ± 0.09 bc	41.7 ± 2.4 c
CEMEXICA-1	1.2 ± 0.3 c	766 ± 123 ab	1.4 ± 0.11 c	14.4 ± 1.1 a	0.46 ± 0.12 c	38.3 ± 0.4 d
HSD	0.44	188	0.24	8.6	0.15	2.8

PT = peso total m^2; Tmc = número de tallos m^2; PE = peso total de espiga; RE = residuo de espiga; PG = peso de granos; P_{1000} = peso de 100 granos. Letras minúsculas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

El peso de granos también presentó variación entre genotipos. El genotipo 8 alcanzó el valor más alto (rendimiento de 7.4 t ha^{-1}), seguido del genotipo 19 y el genotipo 4, lo que es consistente con su desempeño en PE y Tmc, e indica una buena conversión de fotoasimilados hacia el grano (Riofrío y León, 2021). Respecto a P_{100}, el genotipo 8 destacó con 51.7 g, seguido por el genotipo 2 y el genotipo 3, mientras que el menor valor se registró en el genotipo 1. Este indicador es relevante para la calidad maltera, ya que granos más pesados suelen asociarse con mejor calidad de malteado (González et al., 2016; García, 2022).

La interacción entre variables revela estrategias productivas diferenciadas: el genotipo 19 produce el mayor peso y número de tallos, pero no alcanza el máximo peso de espiga ni el menor residuo; sin embargo, su rendimiento de grano es competitivo. Por otro lado, el genotipo 8, aunque genera menos biomasa y tallos, compensa con espigas más pesadas, menor residuo y granos de mayor peso, lo que lo convierte en un candidato prometedor tanto para rendimiento de grano como para calidad maltera.

Conclusiones

Se confirmó la existencia de variabilidad agronómica y forrajera entre los genotipos evaluados, permitiendo identificar materiales adaptados a las condiciones del Valle de Mexicali. Los genotipos evaluados mostraron características que favorecen tanto la producción de grano de calidad para malteado como una biomasa forrajera significativa, apoyando la doble utilidad del cultivo. La selección de estos genotipos con buen desempeño productivo y adaptativo puede contribuir a diversificar y mejorar la rentabilidad y sostenibilidad en sistemas agrícolas de zonas áridas.

Referencias

Caluguillin Quishpe, E. C., y Chalampuente Flores, D. S. (2023). *Evaluación agronómica de 144 líneas promisorias de cebada maltera (Hordeum vulgare L.) en la Granja Experimental "La Pradera" Chaltura, Imbabura.*

Carretto, L. M., Dietz, J. I., y Da Silva, L. V. (2024). *Habilidad competitiva de verdeos de invierno frente a Raphanus sativus.* Asociación Argentina de Ciencia de las Malezas (ASACIM).

Fierro, A. E., Córdova, E. M., Guerrero, L. C., Porras, J. G. U., Castellanos, E. A. R., y Barragán, L. A. S. (2024). *De desecho a alimento: Aprovechamiento del residuo cervecero en la nutrición animal.* Química Hoy, 13(4), 23-30.

García, U. (2022). *Limpieza y clasificación de la cebada y la malta*. Cerveza y Malta, (235), 42-53.

González González, M., Zamora Díaz, M., y Solano Hernández, S. (2016). *Agronomic and physical evaluation in advanced lines of malting barley.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(1), 159-171.

Khanal, R., Mills, A., Choo, T. M., Fillmore, S., Pageau, D., y Mountain, N. (2022). *Optimum seeding rates for hulless barley production in eastern Canada.* Canadian Journal of Plant Science, 102(6), 1177-1184. https://doi.org/10.1139/cjps-2022-0040

Riofrío, F. M. C., y León, F. E. M. (2021). *Caracterización agronómica de 16 variedades de cebada maltera realizadas en el centro experimental Tunshi.* Polo del Conocimiento. Revista Científico-Profesional, 6(1), 637-655. https://doi.org/10.23857/pc.v6i1.2257

Tigasi Caisaguano, T. S. (2024). *Evaluación del comportamiento agronómico de una variedad de cebada dística (Hordeum vulgare L.)* I*NIAP y cuatro líneas*

promisorias. INIAP en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, 2023–2024 [Tesis doctoral, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC.

Velasco López, J. L., Soto Ortiz, R., Ail Catzim, C. E., Grimaldo Juárez, O., Avilés Marín, S. M., y Lozano del Río, A. J. (2020). *Biomass and grain yield in triticale varieties in the Mexicali valley*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(5), 1097-1109.

Zamora Díaz, M. R., Pérez Ruiz, J. A., Huerta Zurita, R., López Cano, M. L., Gómez Mercado, R., y Rojas Martínez, I. (2017). *Maravilla: variedad de cebada forrajera para Valles Altos de México.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(6), 1449-1454.

Capítulo **20**

Evaluación del efecto del quitosano y sus diferentes pesos moleculares en la fenología del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Anaya Castro Daniel Alejandro[1]
Armenta Bojórquez Adolfo Dagoberto[46]
Escobedo Bonilla Cesar Marcial[46*]
Galaviz Lara Julián Alberto[46]
López Valenzuela Blanca Elvira[2]

[1] Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Guasave, Sinaloa, México. *E mail:.cesar_escobedomx02@yahoo.com.
[2] Universidad Autónoma de Sinaloa Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Sinaloa, México. Av. Japaraqui y Calle 16 s/n, cp. 81110, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa.

Resumen

El presente trabajo evaluó el efecto de diferentes pesos moleculares de quitosano (alto, medio y bajo) y distintas dosis (500, 350 y 200 ppm) en el crecimiento y desarrollo en tomate durante 50 días en condiciones de invernadero. Las variables evaluadas fueron altura de planta, grosor de tallo, volumen y peso seco de raíz, peso seco de follaje y el análisis nutrimental. Los resultados mostraron un efecto bioestimulante bastante positivo en todos los tratamientos en aumento el crecimiento y la captación de nutrientes, el tratamiento con mayor peso seco de follaje fue el quitosano de bajo peso molecular a una concentración de 200ppm con 12.5g de peso, mientras el que tuvo un mayor desarrollo de raíz fue el de bajo peso molecular a 500ppm, encontrado que tanto la dosis como el peso molecular tienen diferentes efectos en el desarrollo y absorción nutrimental.

Introducción

El tomate (Solanum lycopersicum L.) es de las hortalizas más importantes en el mundo debido a su alto valor nutricional y consumo; además, es la más producida a nivel mundial. Su producción está en constante crecimiento debido a la demanda poblacional, alcanzando una producción de 192 millones de toneladas en el año 2023 (FAO 2024). Estos cultivos requieren grandes cantidades de agroquímicos debido a las condiciones necesarias para su crecimiento, los cuales causan efectos negativos al medio ambiente y a la salud humana (Sharma et al. 2017). Sin embargo, en algunas de las principales áreas productoras de hortalizas, la fertilización sintética para el cultivo de tomate oscila entre los 1900 y 3600 kg de N ha-1 y, al utilizar altas cantidades de fertilizantes, disminuye el aprovechamiento de estos hasta en un 50 % (Song et al. 2012), donde los nutrientes no aprovechados son liberados al medio ambiente, causando daños al mismo. Una de las alternativas utilizadas para disminuir la fertilización sintética es la aplicación de bioestimulantes, los cuales aumentan la absorción de nutrientes (Halpern, et al. 2015) y, a diferencia de los fertilizantes, no aplican nutrientes directamente, sino que son sustancias o microorganismos que regulan procesos fisiológicos de las plantas (Rouphael 2020). Al utilizar

quitosano como bioestimulante, el peso molecular del quitosano tiene diferentes efectos en los cultivos, ya que cambia su solubilidad, viscosidad y capacidad de interactuar con los tejidos vegetales. Se ha demostrado que el quitosano funciona como activador de rutas metabólicas en tomate, haciendo que las plantas produzcan hormonas como ácido indol-acético, ácido salicílico y ácido jasmonico, las cuales están relacionadas con el crecimiento y defensa de las plantas (Tender et al., 2020), por lo que es importante investigar diversas formas de aplicar quitosano como bioestimulante. Uno de los objetivos de este trabajo de investigación es comparar las diferentes dosis y pesos moleculares de quitosano para evaluar el efecto que se tiene, para conocer en qué situaciones resulta más conveniente aplicar cada uno de estos.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en condiciones de invernadero durante los meses de octubre-diciembre del 2024 con la variedad SV8579TE de Bayer®, en el CIDIIR-SINALOA. El experimento tuvo una duración de 50 días, donde se tenían dos plantas por tratamiento en macetas de tres litros con sustrato en relación 1:1, *peat moss*-suelo, en un diseño completamente al azar. Se utilizaron quitosanos de tres diferentes pesos moleculares: bajo peso molecular (BPM), medio peso molecular (MPM) y alto peso molecular (APM) a tres concentraciones, y fueron obtenidos de manera comercial, adquiridos de la empresa Tokyo Chemical Industry (TCI, Tokio, Japón) con las siguientes especificaciones:

Cuadro 1. *Especificaciones de los pesos moleculares de los quitosanos utilizados.*

Peso molecular	**Especificaciones**
Bajo	5-20mPa·s, 0.5 % in 0.5 % Acetic Acid at 20°C
Medio	20-100mPa·s, 0.5 % in 0.5 % Acetic Acid at 2 0°C
Alto	200-600mPa·s, 0.5 % in 0.5 % Acetic Acid at 20°C

Para disolución de los quitosanos se utilizó agua destilada con ácido acético al 0.25 % y se agitó durante dos horas en un agitador EBERBACH, y para ajustar el pH a 5.5-6 se utilizaron 20 ml por litro de hidróxido de potasio 2N.

Cuadro 2. *Descripción de los tratamientos aplicados para la evaluación de la mejor dosis y el mejor peso molecular de quitosano.*

Tratamiento	Peso molecular	Dosis (ppm) en 200 ml de agua
T1	Bajo	200 ppm
T2	Bajo	350 ppm
T3	Bajo	500 ppm
T4	Medio	200 ppm
T5	Medio	350 ppm
T6	Medio	500 ppm
T7	Alto	200 ppm
T8	Alto	350 ppm
T9	Alto	500 ppm
T10	Testigo	0 ppm

Se evaluaron 10 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento. Estos se aplicaron en el riego con una probeta graduada, utilizando 200 mL por riego, los cuales consistían en los tres diferentes pesos moleculares a 200, 350 y 500 ppm de quitosano de cada peso molecular por maceta. Las aplicaciones se realizaron a los 10, 25 y 40 días después de la siembra. Una vez transcurridos los 50 días, se evaluó la altura de planta (cm) utilizando una regla graduada, grosor de tallo (mm) con un vernier; el volumen de raíz se obtuvo por diferencia de volumen utilizando una probeta graduada con agua. Para el peso seco del follaje y de raíz, el follaje y las raíces fueron secados en un horno a 75 °C y, para el análisis nutrimental, se siguió la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999). Se realizó una digestión húmeda a través de una mezcla de ácido sulfúrico y perclórico; la concentración de nitrógeno se obtuvo mediante el método de Kjeldahl, el fósforo por el método vanadato-molibdato amarillo, potasio por el método de emisión de llama-flamometría y, para calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre, se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica.

Para la interpretación de las variables de respuesta se realizó un análisis de varianza ANOVA. Para el análisis de las diferencias entre los tratamientos se utilizó una prueba Tukey con nivel de significancia de 0.05, utilizando el paquete SAS.

Resultados y discusión

Los resultados sobre las variables fisiológicas se muestran en el Cuadro 2, siendo peso seco follaje (PSF), volumen de raíz (VR), peso seco de raíz (PSR), altura de planta (AP) y grosor de tallo (GT).

El tratamiento con mayor desarrollo de raíz fue el quitosano de BPM a 500 ppm con 24 cm^3 de volumen y 1.06 g de peso seco. El mejor desarrollo del quitosano de BPM podría deberse a su mejor solubilidad y habilidad para infiltrarse en los tejidos de las plantas, promoviendo la activación de vías hormonales como las del ácido abscísico y las auxinas, que promueven la división celular y el crecimiento del sistema radical. Esto concuerda con Sánchez et al. (2019), quienes reportaron que el uso de quitosano de BPM promueve más el crecimiento radicular que cuando se aplica uno de APM.

La aplicación de quitosano en las plántulas de tomate tuvo claramente un efecto positivo en el peso seco de follaje, ya que todos tuvieron diferencia estadística con el testigo; a pesar de esto, hubo diferencias significativas entre los pesos moleculares y las dosis aplicadas de quitosano. El tratamiento con mayor desarrollo fue el quitosano de APM al aplicar 200 ppm y alcanzó los 12.5 g, mostrando un aumento de peso del 76 % respecto al testigo, que tuvo el menor peso seco (7.1 g). Lakshari et al. (2023) reportaron el aumento del peso seco de la planta de hasta 120 % comparado con un control (agua) al aplicar quitosano en diferentes etapas del cultivo.

En el análisis nutrimental, la aplicación de quitosano mostró mayor absorción de nutrimentos, algunos de estos siendo más efectivos comparados con el testigo (agua). A pesar de esto, los resultados muestran una variación de absorción de nutrimentos entre los pesos moleculares de quitosano y las dosis aplicadas. El quitosano de BPM mostró una mayor absorción de nitrógeno en sus tres dosis, siendo el tratamiento de 500 ppm el que destacó por tener una alta absorción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), estando entre los valores más altos y estadísticamente diferentes del testigo en varios de estos nutrimentos. Chanratana et al. (2019) reportaron que el uso de quitosano favorece la absorción de macronutrientes en tomate y aumenta hasta en 28 % la absorción de nitrógeno, 14 % calcio, 6 % potasio y 10 % calcio.

Conclusiones

El trabajo mostró un efecto positivo de la aplicación de quitosano en el crecimiento de las plantas de tomate. No obstante, hubo diferencias entre los pesos moleculares aplicados y las dosis, donde es el quitosano de APM a 200 ppm el que presentó un mayor desarrollo de la planta, lo que nos indica que una mayor concentración de quitosano no necesariamente producirá un mayor desarrollo de la planta.

Referencias

Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. *Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.

Sánchez, A. R. Á., Gómez, L. M. C., Freile, M. F. M., Reyes-Pérez, J. J., Casacó, A. R. B., Véliz, M. B. C., y Alvarado, W. H. S. (2021). *Respuesta agronómica de plantas de tomate solanum lycopersicum L. a la aplicación de bradyrhizobium japonicum y quitosano*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 5(6), 11361-11374.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024) *With major processing by Our World in Data. "Tomato production. FAO"*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Production: Crops and livestock products".

Sharma, N., y Singhvi, R. (2017). *Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: A review. International Journal of Agriculture*, Environment and Biotechnology, 10(6), 675–679. doi:10.5958/2230-732X.2017.00083.3

Song, H., Guo, J., Ren, T., Chen, Q., Li, B. and Wang, J. (2012), *Increase of Soil pH in a Solar Greenhouse Vegetable Production System*. Soil Science Society of America Journal, 76: 2074-2082. https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0445

De Tender, C., Mesuere, B., Haegeman, A., Ruttink, T., y Vandecasteele, B. (2020). *Chitosan induces plant hormones and defenses in tomato root exudates*. Frontiers in Plant Science, 11, 572087. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572087

Lakshari, W. A. I., Sukanya, M., y Hewavitharan, K. H. I. K. (2023). *Effect of different concentrations of foliar application of chitosan on growth development*

of tomato (Solanum lycopersicum L.) cultivar grown in Sri Lanka. Journal of research technology and engineering, 4(3), 01-08

Chanratana, M., Joe, M. M., Roy Choudhury, A., Anandham, R., Krishnamoorthy, R., Kim, K., Jeon, S., Choi, J., Choi, J., y Sa, T. (2019). *Physiological response of tomato plant to chitosan-immobilized aggregated Methylobacterium oryzae CBMB20 inoculation under salinity stress*. 3 Biotech, 9(11). https://doi.org/10.1007/s13205-019-1923-1

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

Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., y Yermiyahu, U. (2015). *The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake*. Advances in Agronomy, 130, 141–174. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001

Capítulo **21**

Alternativas de fertilización de fondo en la producción de rabano sandía

Carballo Méndez Fernando de Jesús[1*]
Cota Carballo María Antonieta[48]
Ruiz Espinoza Francisco Higinio[48]

[1] Departamento Académico de Agronomía, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Correo electrónico: fj.carballo@uabcs.mx.

Resumen

El rábano es una hortaliza muy popular y utilizada en todo el mundo. La producción agrícola actual está priorizando el uso sustentable de recursos, por lo que se están cambiando prácticas, como la fertilización química, a productos más amigables con el ambiente y la salud humana. El objetivo del presente ensayo fue comparar diversos materiales como fertilización de fondo en la producción de rábano sandía, así como en la fertilidad química del suelo. Semillas de rábano sandía fueron sembradas en macetas llenas de suelo con los siguientes tratamientos: 0) control (sin aplicación), 1) tierra de diatomeas (10 g/kg), 2) humato de potasio (1 g/kg), 3) Triple 19 (1 g/kg) y 4) humus de lombriz (10 g/kg). A los 55 días después de la siembra, se evaluaron variables de biomasa y morfología, así como de fertilidad química del suelo. Los tratamientos evaluados generaron diferentes impactos en la biomasa y morfología del rábano, así como en la fertilidad química del suelo. El triple 19 mostró valores más altos de variables de biomasa y morfología, aunque en algunas variables el efecto del humus de lombriz y la tierra de diatomeas fue similar. Por otro lado, el humus de lombriz y la tierra de diatomeas superaron el efecto del triple 19 en la concentración de algunos elementos esenciales en el suelo. El humus de lombriz y la tierra de diatomeas pueden ser alternativas sustentables para incorporarse como fertilizante de fondo para la producción de rábano.

Introducción

El rábano (*Raphanus sativus* L.) es una hortaliza de raíz tuberosa que se cultiva y consume en todo el mundo. Esa hortaliza se suele comer en crudo, principalmente en ensaladas, aunque también hay quienes prefieren beber su jugo por ciertos beneficios para la salud. Los rábanos tienen diferentes colores de piel (rojo, morado, negro, amarillo y blanco a rosa), mientras que su pulpa suele ser blanca. Además, la raíz comestible del rábano varía

en sabor, tamaño y longitud en todo el mundo (Banihani, 2017). Dentro de esta gran diversidad de características, en la actualidad el rábano sandía está ganando terreno como una variedad muy llamativa y muy utilizada en la cocina gourmet. Este rábano presenta el exterior de color blanco cremoso o de color verde pálido, mientras que el color blanco, cuanto más cercano está al exterior, se convierte en estrías brillantes y circulares de color rosa y magenta hacia el centro.

Los consumidores actuales de productos agrícolas en general, incluyendo el rábano, están priorizando el consumo responsable, por lo que los productores agrícolas están cambiando prácticas con el objetivo de reducir la utilización de productos químicos sintéticos y utilizar productos de síntesis natural y más amigables con el ambiente y la salud humana. Por lo anterior, la utilización de fertilizantes orgánicos es una alternativa para los procesos de producción agrícola. Particularmente en el cultivo de rábano, hay estudios que evidencian el impacto positivo de fertilizantes orgánicos y bioestimulantes, como lo reportado por Ali et al. (2023), donde se incrementaron parámetros de crecimiento y rendimiento. Así como Calero et al. (2019), quienes señalan que la aplicación de bioestimulantes incrementó la producción media de hojas por planta, el diámetro de las raíces, la producción de biomasa y el rendimiento. El objetivo del presente ensayo fue comparar diversos materiales como fertilización de fondo en la producción de rábano sandía, así como en la fertilidad química del suelo.

Materiales y métodos

El ensayo se estableció en el mes de abril del 2025 en un módulo de malla sombra en el Departamento Académico de Agronomía de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Durante el periodo del cultivo se presentaron temperaturas promedio de 41°C como máxima y 17°C como mínima. Semillas de rábano sandía (Kristen Seed®) fueron sembradas en macetas de plástico bicolor (negro interior/marrón exterior) de un volumen de 1.2 L. Dichas macetas fueron llenadas con suelo agrícola con las siguientes características: pH 7.51, conductividad eléctrica 2.1 dS m^{-1}, materia orgánica 1,15 %, nitrógeno total 0.06 %, fósforo 8.36 mg L^{-1}, potasio 48.67 mg L^{-1}, calcio 83.50 mg L^{-1}, magnesio 42.83 mg L^{-1}, y los siguientes

tratamientos (con 10 repeticiones cada uno): 0) control (sin aplicación), 1) tierra de diatomeas (10 g/kg), 2) humato de potasio (1 g/kg), 3) Triple 19 (1 g/kg), y 4) humus de lombriz (10 g/kg). Durante el periodo de cultivo, cada maceta fue regada con 6 L de agua con las siguientes características: pH 7.13, conductividad eléctrica 1.6 dS m^{-1}, bicarbonatos 402.73 mg L^{-1}, cloruros 546.08 mg L^{-1}, sulfatos 19.04 mg L^{-1}, potasio 1.85 mg L^{-1}, calcio 96.99 mg L^{-1} y magnesio 50.88 mg L^{-1}. A los 55 días después de la siembra, las plantas completas fueron cosechadas para la medición de las siguientes variables: peso fresco y seco de raíz tuberosa, peso fresco y seco de hojas, longitud y diámetro de raíz tuberosa, número de hojas y contenido relativo de clorofila. De igual manera, se analizaron muestras de los tratamientos para determinar conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los datos colectados fueron sometidos a un análisis de varianza y, en su caso, una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el paquete estadístico MINITAB versión 22.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias entre los tratamientos tanto en biomasa y morfología del rábano sandía, así como en las variables de fertilidad química del suelo. La mayor biomasa de raíz se presentó en las plantas fertilizadas con humus de lombriz, siendo estadísticamente igual al triple 19 y control. En la biomasa de hoja, los mayores valores se mostraron en triple 19 y control, aunque estadísticamente igual que el humus de lombriz, para el caso de peso fresco; mientras que en el peso seco el triple 19 fue superior al resto, con un 32 % más que el control. La longitud de raíz fue beneficiada por el humus de lombriz, siendo igual a la del triple 19 y superando al control en 23 %. El número de hojas fue beneficiado por el triple 19, siendo igual al humus de lombriz y superando al control en 16 % (Cuadro 1). El contenido relativo de clorofila fue similar en casi todos los tratamientos, a excepción del humus de lombriz, donde se redujo 12 % respecto al control. La aplicación de humus de lombriz ha mostrado diferentes efectos en la producción de rábano, mientras Kováčik et al. (2021) reportaron que no hubo efecto positivo, e incluso señalaron un efecto negativo en la biomasa.

Cruz et al. (2024) señalaron efectos positivos en el crecimiento y productividad del rábano.

Dentro de las variables evaluadas respecto a la fertilidad química, solo la conductividad eléctrica, fósforo, calcio y magnesio fueron diferentes entre los tratamientos. La conductividad eléctrica, en suelo con humus de lombriz, se incrementó en 21 % respecto al promedio de los tratamientos restantes. La disponibilidad de fósforo se incrementó en 20 % con el humato de potasio, mientras que para el calcio y el magnesio el comportamiento fue similar, donde los mejores tratamientos fueron tierra de diatomeas y humus de lombriz, los cuales superaron al resto de tratamientos en 26 % y 17 % para el caso del calcio, y con 28 % y 23 % para el magnesio, respectivamente (Cuadro 2). Algunos estudios, como el de Lanna et al. (2018), confirman el efecto residual de los fertilizantes orgánicos, como el humus de lombriz, que mejora las propiedades químicas del suelo.

Cuadro 1. *Variables de biomasa y morfología de rábano sandía.*

Tratamiento	Peso Fresco Raíz g	Peso Seco Raíz mg	Peso Fresco Hojas g	Peso Seco Hojas mg	Longitud Raíz cm	Diámetro Raíz cm	Número de Hojas	Contenido Relativo Clorofila Spad
Control	5.05 ab*	0.60 ab	15.87 a	1.67 b	3.19 b	1.96	6.4 b	37.66 a
Tierra de Diatomeas	3.40 b	0.43 b	1 1 . 5 0 bc	1.27 c	3.06 b	1.57	6.6 a	39.34 a
Humato de Potasio	4.27 b	0.50 ab	11.18 c	1.32 c	3.04 b	1.71	6.4 b	40.18 a
Triple 19	5.82 ab	0.64 ab	17.00 a	2.20 a	3.59 ab	1.94	7.4 a	39.06 a
Humus de Lombríz	7.21 a	0.92 a	1 4 . 2 7 ab	1.79 b	3.92 a	1.82	7.0 ab	33.28 b

*Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p<0.05$). En las variables donde no se muestran literales, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p<0.05$).

Cuadro 2. *Análisis químico de los tratamientos evaluados.*

Tratamiento	Conductividad Eléctrica dS m^{-1}	pH	Materia orgánica %	Nitrógeno Total %	Fósforo mg L^{-1}	Potasio mg L^{-1}	Calcio mg L^{-1}	Magnesio mg L^{-1}
Control	2.80 b*	6.64	0.81	0.040	7.20 b	77.23	249.83 b	93.01 b
Tierra de Diatomeas	2.70 b	6.56	0.78	0.039	7.31 b	73.90	308.61 a	111.45 a
Humato de Potasio	2.90 b	6.64	0.83	0.041	8.65 a	80.55	256.84 b	82.96 b
Triple 19	2.80 b	6.68	0.74	0.037	7.25 b	80.10	227.12 b	84.70 b
Humus de Lombríz	3.40 a	6.64	0.81	0.041	6.66 c	78.77	287.24 a	106.89 a

*Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p<0.05$). En las variables donde no se muestran literales, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p<0.05$).

Conclusiones

Los tratamientos evaluados generaron diferentes impactos en la biomasa y morfología del rábano, así como en la fertilidad química del suelo. En general, el tratamiento que generó valores más altos de variables de biomasa y morfología fue el triple 19, aunque en algunas variables el efecto en las plantas del humus de lombriz y la tierra de diatomeas fue similar. Respecto a la fertilidad química del suelo, el humus de lombriz y la tierra de diatomeas superaron el efecto del triple 19 en la concentración de algunos elementos esenciales. Por lo anterior, el humus de lombriz y la tierra de diatomeas pueden ser alternativas sustentables para incorporarse como fertilizante de fondo para la producción de rábano.

Referencias

Ali, M. S., Zahid, Z. H., Siddike, M. N., Bappi, Z. H., Payel, N. A., Islam, T., y Mohsin, G. M. (2023). *Effect of different levels of organic fertilizer on growth, yield and economic benefits of radish (Raphanus sativus L.)*. Journal of Bioscience and Agriculture Research, 30(02), 2533-2540.

Banihani, S. A. (2017). R*adish (Raphanus sativus) and diabetes. Nutrients*, 9(9).

Calero, H. A., Díaz, Y. P., Calzada, K. P., Rodríguez, E. Q., y Olivera, D. (2019). *Efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y productivo del cultivo del rábano (Raphanus sativus L.)*. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, 36(1), 54-73.

Cruz, D. D., Muguruza Crispin, N. E., Caira Mamani, C. M., Castro Bartolomé, H. J., Inga Sotelo, M. A., Alberto, M. N. M. y Diestra Salinas, F. (2024). *Biological and chemical characterization in relation to the yield of radish (Raphanus sativus L.) nourished with humus from plant residues.* Brazilian Journal of Biology, 84, e281235.

Lanna, N. B., Silva, P. N. L., Colombari, L. F., Corrêa, C. V., y Cardoso, A. I. I. (2018). *Residual effect of organic fertilization on radish production.* Horticultura Brasileira, 36(1), 47-53.

Kováčik, P., Olšovská, K., Smoleń, S., y Ledwożyw-Smoleń, I. (2021). *Parameters of radish phytomass (Raphanus sativus L.) determined by vermicompost and earthworms (Eisenia fetida).* Folia Horticulturae, 33(1), 217-233.

Capítulo **22**

Crecimiento y composición mineral de plántulas de tomate bajo la influencia de silicio

Cázarez Flores Luz Llarely[1*]
Zazueta Torres Norma Delia[2]
Angulo Castro Azareel[49]
Serrano López Luis Ángel[49]
Molina Cárdenas Lorena[49]
Ley López Nancy[49]
Román Román Leonardo[49]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5. C. P. 80000. Culiacán, Sinaloa, México. *Autor de correspondencia: luzcazarez@uas.edu.mx.
[2] Tecnológico Nacional de México/ITS Eldorado, Av. tecnológico S/N Col. Rubén Jaramillo C.P.80450 Eldorado, Culiacán, Sinaloa, México.

Resumen

El silicio es un elemento que, como fertilizante, insecticida y fungicida, contribuye con gran impacto en la agricultura al optimizar el rendimiento de los cultivos y ofrecer una alternativa ecológica. El objetivo de la presente investigación fue determinar el crecimiento y la composición mineral de las hojas de plántulas de tomate bajo el efecto de silicio. Se sembró tomate indeterminado cv. La gema (Nirit Seeds LTD) en charolas de poliestireno bajo condiciones de una cámara de crecimiento con un sistema de iluminación artificial. Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos: Si (metasilicato de sodio®, $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$) a dosis de 0 (testigo), 1, 3, 5 y 7 $mg \cdot L^{-1}$. Se evaluaron las siguientes variables de crecimiento: altura, verdor foliar, área foliar, peso seco de raíz, peso seco de parte aérea, así como la composición mineral de las hojas: K, Ca y Mg. Las variables evaluadas se sometieron al paquete estadístico Minitab 18, mediante el ANOVA y comparación de medias con la prueba Fisher ($P \leq 0.05$). Los resultados muestran que el silicio en dosis de 3 $mg\ L^{-1}$ fue eficaz para incrementar variables morfológicas y la composición mineral de las hojas.

Introducción

El silicio (Si) no se clasifica como un elemento esencial para las plantas; sin embargo, diversos estudios han evidenciado su efecto benéfico en diversas especies y condiciones ambientales (Pavlovic et al., 2021). El silicio se ha convertido en un elemento fundamental en la agricultura por su efecto en la mejora del crecimiento, rendimiento y la tolerancia de las plantas a diversos factores ambientales (Rizwan et al., 2015). Algunos de los efectos benéficos del silicio en las plantas son la mayor disponibilidad de nutrientes, la mayor tolerancia al estrés abiótico y biótico y la mayor eficiencia en el uso de fertilizantes (Agostinho et al., 2017; Rao et al., 2017; Lee et al., 2019). Varios

estudios han demostrado que el Si facilita en las plantas la absorción de nutrientes esenciales como N, P y K (Wu et al., 2016; Kostic et al., 2017).

La absorción de Si por parte de las plantas se produce principalmente en forma de ácido silícico (H_4SiO_4) o ácido monosilícico $Si(OH)_4$ soluble en agua, que sigue pasivamente el flujo de agua desde la superficie de la raíz (Henriet et al., 2006). Estudios realizados por Dai et al. (2024) indican que la adición de Si_3O (30 mg L^{-1}) en plántulas de arroz bajo condiciones de estrés mejora la actividad enzimática antioxidante, la tasa de fotosíntesis, repara las células epidérmicas distorsionadas, aumenta la altura, el peso seco y el sistema radical. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el crecimiento y la composición mineral de las hojas de plántulas de tomate bajo el efecto de silicio.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Anatomía Vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, dentro de cámaras de crecimiento (44 x 70 x 80 cm) iluminadas por lámparas fluorescentes compactas, de luz blanca fría (LBF: 6500 K), neutra (LBN: 4000 K) y cálida (LBC: 2700 K) y con un fotoperiodo de 12/12 h de luz/oscuridad.

Se sembró tomate VR. La gema en charolas de 60 cavidades rellenas de peat moss (Berger). La fertilización se realizó con una solución Steiner al 25 % más 5 g L^{-1} de quelato Full mix B (microhow®), acorde a las necesidades nutrimentales e hídricas.

Se aplicó el diseño de bloques completos al azar, tres repeticiones y cinco tratamientos: Si (metasilicato de sodio®, $Na_2SiO_3.9H_2O$) en dosis de 0 (testigo), 1, 3, 5 y 7 mg L^{-1}. El área de experimento se constituyó de una charola con 60 plántulas por cada tratamiento. Las aplicaciones iniciaron a partir de que las plántulas desarrollaron la primera hoja verdadera (12 días después de la siembra, dds) mediante los riegos.

Se evaluaron las variables de respuesta a partir de los 37 dds. Para evaluar variables de crecimiento como altura, verdor foliar, área foliar (Blanco y Folegatti, 2003), peso seco de raíz y parte aérea de las plántulas, se seleccionaron 30 plantas al azar por tratamiento. Del mismo modo, para evaluar la composición mineral de las hojas, se siguió la metodología de

Rodríguez y Rodríguez (2015), mediante la evaluación de potasio, calcio y magnesio por medio de espectrometría de absorción atómica (Analyst 200, Perkin Elmer, EE. UU.).

Las variables evaluadas se sometieron al paquete estadístico Minitab 18, mediante el ANOVA y comparación de medias con la prueba Fisher ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Para la variable altura, las plántulas tratadas con la dosis 5 mg L^{-1} de Si superaron al testigo en valores del 3 % (Cuadro 1), aunque sin diferencias significativas.

Mientras que en verdor foliar se presentaron incrementos significativos ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 1), las plántulas tratadas con Si en dosis de 3 mg L^{-1} superaron al testigo en 5 %. De igual manera, para el área foliar, la dosis de Si en 3 mg L^{-1} indujo un incremento en un 6 % con relación al testigo.

En peso seco de raíz se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, ocasionando el mayor peso en las plántulas tratadas con Si en dosis de 3 mg L^{-1}, la cual superó al testigo en 41 % (Cuadro 1). En cuanto a peso seco de parte aérea, las plántulas tratadas con Si en dosis de 3 mg L^{-1} incrementaron en 5 %, superando al testigo (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Crecimiento de plántulas de tomate bajo la influencia de silicio.*

Dosis	Altura (cm)	Verdor foliar (U. SPAD)	Área foliar (cm^2)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de parte aérea (g)
0 mg L-1 de Si (testigo)	27.13 ab	35.95 b	59.26 ab	0.46 bc*	3.51 ab*
1 mg L-1 de Si	26.23 bc	34.33 c	58.76 b	0.49 b	3.42 b
3 mg L-1 de Si	26.98 ab	37.64 a	62.66 a	0.65 a	3.69 a
5 mg L-1 de Si	27.68 a	35.66 bc	60.63 ab	0.49 b	3.35 b
7 mg L-1 de Si	25.49 c	35.22 bc	58.36 b	0.42 c	3.41 b
CV	10.69	9.65	7.38	17.53	5.97

Medias con diferentes letras dentro de cada columna, muestran diferencias estadísticas con la prueba Fisher ($P \leq 0.05$).

En el Cuadro 2 se observan los resultados de K, Ca y Mg. Para el porcentaje de K, no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con relación al testigo. No obstante, las plántulas tratadas con las dosis de Si incrementaron el K en 7, 22, 8 y 19 %, respectivamente, con relación al testigo.

El porcentaje de Ca en plántulas de tomate presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Las dosis de 1 y 3 mg L^{-1} de Si mostraron incrementos del 87 y 40 %, respectivamente, con respecto al testigo. El porcentaje de Mg fue incrementado significativamente ($P \leq 0.05$) con las dosis de 1 mg L^{-1}, con relación al testigo.

Cuadro 2. *Composición mineral de hojas de plántulas de tomate bajo la influencia de silicio.*

Dosis	**K** **%**	**Ca** **%**	**Mg** **%**
0 mg L-1 de Si (testigo)	4.72 ab	1.16 c	0.54 b
1 mg L-1 de Si	5.03 ab	2.16 a	0.69 a
3 mg L-1 de Si	5.78 a	1.63 b	0.59 ab
5 mg L-1 de Si	5.08 ab	1.15 c	0.48 b
7 mg L-1 de Si	5.61 ab	0.70 d	0.46 b
CV	20.83	42.3	24.66

Estos resultados coinciden con Biju et al. (2023), quienes mencionan que Si en dosis de 3 y 7 mg L^{-1} mejoró el verdor foliar de plantas de lenteja (Lens culinaris), el contenido de clorofila y la eficiencia en el uso del agua. De la misma manera, Zejun et al. (2025) indican que el Si produjo una mayor acumulación de biomasa, materia seca y disminuyó el uso de agua en plántulas de manglares.

Estos hallazgos son consistentes con reportes previos en otras especies de plantas. Por ejemplo, se ha demostrado que la aplicación exógena de Si promueve la absorción de K^+ y aumenta el área foliar en los frijoles comunes (Dos Santos et al., 2021). Varios estudios han demostrado que el Si facilita en las plantas la absorción de nutrientes esenciales como N, P y K (Wu et al., 2016; Kostic et al., 2017).

Conclusiones

Con la aplicación de silicio en dosis de 3 mg L^{-1} se logró obtener plántulas de tomate de buena calidad, ya que, con dicha aplicación, se mejoró verdor, área foliar, peso seco de raíz y parte aérea. Con respecto a K, Si en dosis de 3 mg L^{-1} aumentó el porcentaje de K; mientras que, para el porcentaje de Ca y Mg, se expresó la mejor respuesta con las dosis de 1 y 3 mg L^{-1} de Si..

Referencias

Agostinho, F. B., Tubana, B. S., Martins, M. S. y Datnoff, L. E. (2017). *Effect of different silicon sources on yield and silicon uptake of rice grown under varying phosphorus rates*. Plantas, 6(3). https://doi.org/10.3390/plants6030035

Biju, S., Fuentes, S. y Gupta, D. (2023). *Novel insights into the mechanism(s) of silicon-induced drought stress tolerance in lentil plants revealed by RNA sequencing análisis.* BMC Plant Biology, 23(1). https://doi.org/10.1186/s12870-023-04492-5

Blanco, F.F. y M.V. Folegatti. (2003). *A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants*. Horticultura Brasileira, 21(4), 666-669. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362003000400019

Dai, Z., Yu, L., Ma, P., Wang, Y., An, S. y Liu, M. (2024). *Synergistic effects of silicon and goethite co-application in alleviating cadmium stress in rice (Oryza sativa L.): Insights into plant growth and iron plaque formation mechanisms*. Ecotoxicol Environ Safety, 281. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116570

Dos Santos, S.M.M., de Mello, P.R., de Souza, J.J.P., Teixeira, G.C.M., dos Santos, D.J.C. and de Medeiros, R.L.S. (2021). *Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants*. Scientific Reports, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-99194-z.

Henriet, C., Draye, X., Oppitz, I., Swennen, R. y Delvaux, B. (2006). *Effects distribution and uptake of silicon in banana (Musa spp.) under controlled conditions.* Plant and Soil, 287(1-2), 359-374.

Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J. y Nikolic, M. (2017). *El silicio aumenta la absorción de fósforo (P) por el trigo en condiciones de suelo ácido bajo.* Planta y Suelo, 419, 447-455.

Lee, K.E., Adhikari, A., Kang, S.M., You, Y.H., Joo, G.J., Kim, J.H., Kim, S.J. y Lee, I.J. (2019). *Isolation and characterization of the high silicate and phosphate solubilizing novel strain Enterobacter ludwigii GAK2 that promotes growth in rice plants*. Agronomy, 9(3),144. https://doi.org/10.3390/agronomy9030144

Pavlovic, J., Kostic, L., Bosnic, P., Kirkby, E.A. and Nikolic, M. (2021). *Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants.* Front. Plant Sci. 12. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592

Rao, G.B., PI, P.Y., and Syriac, E.K. (2017). *Silicon nutrition in rice: A review*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6(6), 390-392.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F. and Abbas, F. (2015). *Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review*. Environ Sci Pollut Res, 22(20), 15416-31.

Rodríguez, F.H. and A.J. Rodríguez. (2015). *Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación*. Editorial Trillas, 288. 39. Saavedra, R.G. (ed.) 2017. Manual de producción de lechuga. Boletín INIA no. 374.

Wu, J.W., Geilfus, C.M., Pitann, B. y Muhling, K.H. (2016). S*ilicon-enhanced oxalate exudation contributes to alleviation of cadmium toxicity in wheat.* Environmental and Experimental Botany, 131, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.06.012

Zejun, G., Siyao L., Chaoqun, X., Mingyue, W., Lingyu, S., Hezi, H., Zhanhong, Li, Xi Chen, Lei Jiang, Hai-Lei Zheng. (2025). *Silicon enhances potassium uptake and leaf growth in Avicennia marina, a silicon-accumulating mangrove plant with silicon transporters*. Industrial Crops and Products, 228. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120876.

Capítulo **23**

Efecto de distintas dosis de fertilización y riego en el comportamiento de variables agronómicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

López Araujo Santiago Manuel[51]
Rodríguez Apodaca Jesús Ramón[51]
Graciano Obeso Adalid[52]

[51] Universidad Autónoma Indígena de México. Doctorado en Ciencias en Estudios para la Sostenibilidad y Medio Ambiente. Unidad Los Mochis. Fuente de Cristal, número 2334, Fuentes del Bosque, CP. 81229. Ahome, Sinaloa, México.
[52] Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Carretera a Brecha, sin número, Ejido El Burrioncito, CP. 81149. Guasave, Sinaloa, México. adalid.go@guasave.tecnm.mx.

Resumen

La fertilización de cultivos por medio del sistema de fertirriego o riego por goteo es una alternativa eficiente en rendimiento del grano y ahorro de agua. El objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de distintas dosis de fertilización nitrogenada en diferentes tipos de riego en el comportamiento de variables agronómicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Guasave, Sinaloa. Para lograrlo, se estableció un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA), donde se evaluaron cuatro tratamientos, con tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron altura de planta (AP), grosor del tallo (GT), clorofila (Cla), gasto de agua (GA), número de hojas (NH), concentración de nitrógeno en hoja (CN) y rendimiento (R). Los tratamientos se establecieron con base en el tipo de fertilización: (T1) riego por goteo con fertilización líquida 150 kg nitrógeno (N) ha^{-1}, (T2) riego por inundación restringida con 130 kg N ha^{-1} (líquido), (T3) riego por inundación completa con fertilización sólida urea 200 kg N ha^{-1} y (T4) testigo riego por inundación completa sin fertilización. De los resultados se tiene que el tratamiento T1 fue el tratamiento óptimo en cuanto al rendimiento del cultivo de maíz y con menor gasto de agua, con 10.8 ton ha^{-1} y 3.49 kg de maíz por m^3 de agua empleada. De lo anterior, se tiene que la aplicación de riego por goteo y fertilización líquida permite un mayor rendimiento en el cultivo de maíz.

Introducción

Se estima que el incremento poblacional para el 2050 será de 10 000 millones de habitantes en el mundo (Banco Mundial, 2023). Debido a este incremento, el campo agrícola debe prepararse para un aumento del 70 % en demandas de alimento, más de lo que hoy se hace presente (FAO, 2009). Es importante contribuir en el cuidado del campo agrícola mexicano ante una constante alza en la escasez de alimentos provocada por los cambios

climáticos y la degradación de los recursos naturales, además de eficientar el uso del agua (SADER, 2023). En este sentido, el sistema de fertirriego por goteo usado en los cultivos agrícolas es una alternativa eficiente en ahorro de agua y rendimiento del grano, comparado con riego y fertilización convencional (Loja y Herrera, 2024). Con base en lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de distintas dosis de fertilización nitrogenada en diferentes tipos de riego en el comportamiento de variables agronómicas del cultivo de maíz (Zea mays L.) en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, ubicado en Guasave, Sinaloa.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se desarrolló durante el ciclo otoño-invierno 2024-2025, en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, ubicado en El Ejido Burrioncito, Guasave, Sinaloa, entre las coordenadas 25° a 26° N y 108° a 109° O, donde predomina un suelo de textura arcillosa (arena 19,5 %, arcilla 43,5 % y limo 37 %), con un pH de 7,8 y 1,55 % de materia orgánica. Por otro lado, en cuanto a las condiciones climatológicas durante el estudio, se presentó una temperatura promedio de 24.4°C y unas precipitaciones promedio de 17.3 mm. Se estableció un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA), donde se evaluaron cuatro tratamientos, con tres repeticiones (Cuadro 1). Las variables de respuesta fueron altura de planta (AP), grosor del tallo (GT), número de hojas (NH), clorofila (Cla), gasto de agua (GA), concentración de nitrógeno en hoja (CN) y rendimiento (R).

Cuadro 1. *Tratamientos evaluados en el experimento.*

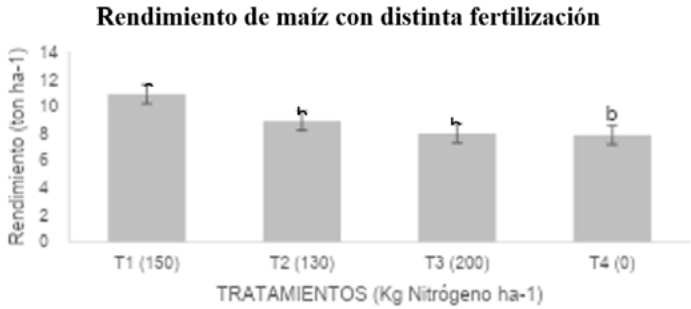
Tratamiento	Tipo de riego y fertilización
T1	Riego por cintilla con una fertilización líquida (30-0-0), 150 kg nitrógeno por hectárea
T2	Riego por inundación castigado a 9 horas con una fertilización líquida (30-0-0), 130 kg de nitrógeno por hectárea
T3	Riego por inundación completa a 12 horas con una fertilización sólida, 200 kg de nitrógeno (urea granular) por hectárea
T4 (Testigo)	Riego por inundación sin fertilización

Nota: Este cuadro muestra el tipo de riego y las concentraciones de nitrógeno aplicadas.

La fertilización sólida (T3) fue dividida en dos aplicaciones: a los 59 y 90 días después de siembra (DDS); la fertilización en T1 y T2 se realizó durante los dos primeros riegos al cultivo; el testigo (T4) correspondió a un solo riego de inundado sin fertilización. Las variables de estudio fueron analizadas semanalmente durante el ciclo del cultivo, desde la germinación de la semilla de maíz hasta el día de cosecha. Para la altura de planta (AP) se utilizó una cinta métrica; para el grosor de tallo (GT) se midió con un vernier o pie de rey; el conteo del número de hojas (NH) se realizó de manera manual; para el contenido de clorofila en hoja (Cla) y el contenido de nitrógeno en hoja (CN) se utilizó un clorofilómetro Chlorophyll meter GYJ–D; para la medición del gasto de agua (GA) se emplearon probetas graduadas; y, por último, el rendimiento (R) a una humedad del 14 % en grano (SNICS, 2014).

Resultados y discusión

Figura 1. *Gráfica de fertilización con respecto al rendimiento.*



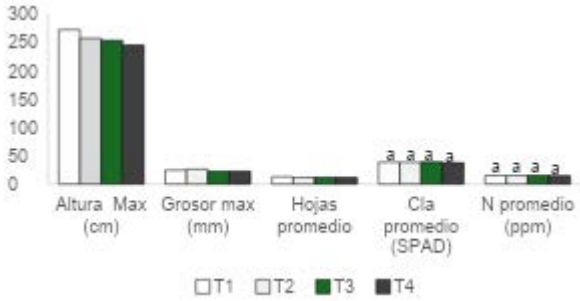
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se observa el rendimiento en ton ha^{-1} del cultivo de maíz con base en las distintas dosis de fertilización recibida por tratamiento. Se tiene que el T1, a una dosis de 150 kg N ha^{-1}, fue más eficiente con 10.8 ton ha^{-1} de rendimiento, el cual fue estadísticamente diferente en comparación con los demás tratamientos analizados. Al respecto, Valdés et al. (2014) encontraron que con dosis de 477 kg N ha^{-1} se obtuvo un rendimiento de 9.8 ton ha^{-1}. Mientras que, Castillo y Ligarreto (2010) establecieron en su investigación fertilizaciones de 100 y 200 kg por hectárea, con un rendimiento de 5.2 ton ha^{-1}. Con base en lo anterior, se tiene que el estado de Sinaloa, debido a

sus condiciones agroclimatológicas, es líder en los rendimientos del cultivo de maíz (SADER, 2023). Por otro lado, en cuanto al rendimiento del maíz y gasto de agua, en el T1 se obtuvieron 3.49 kg de maíz por m3 de agua empleada, mientras que Loja y Herrera (2024) y Cháves et al. (2021) encontraron en sistema de riego por goteo de 6 a 8.98 kg de maíz por m^3 de agua aplicada; por su parte, Salgado (2007) reportó 2.96 kg de maíz por m^3 de agua aplicada por sistema de riego por goteo o cintilla.

Variables agronómicas en cultivo de maíz

Figura 2. *Gráfica sobre el comportamiento de variables agronómicas.*



Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 2 se observa el comportamiento de las variables agronómicas analizadas en el cultivo de maíz. En cuanto a la altura máxima, se tiene que en el T1 se obtuvo la mayor altura de planta, con un valor de 272.33 cm, mismo que está por encima de lo reportado por Cabrera et al. (2021), quienes reportaron que la altura máxima en el cultivo de maíz en riego por goteo (cintilla) fue de 213.78 cm. Por otro lado, se tiene que el mayor grosor del tallo se encontró en el T2 con un valor de 24.20 cm, mismo que coincide con lo descrito por Rojas et al. (2023), quienes registraron medidas de grosor del tallo de planta de maíz de 23.64 a 26.45 cm, en cultivo establecido en riego por gravedad. En cuanto al número de hojas, el T1 fue el mayor, con 12.73 hojas en promedio por planta. Mientras que, Guamán et al. (2022) obtuvieron un promedio de 10 a 11 hojas por planta en cultivo de maíz.

Conclusiones

El tratamiento donde se aplicaron 150 kg nitrógeno por hectárea (30-0-0) en forma líquida mediante riego por goteo o cintilla, fue el tratamiento óptimo en cuanto al rendimiento del cultivo de maíz y al menor gasto de agua, con 10.8 ton ha-1 y 3.49 kg de maíz por m3 de agua empleada.

Referencias

BANCO MUNDIAL. (31 de MARZO de 2023). *GRICULTURA Y ALIMENTOS*. https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview

Cabrera, J. M., Piguave, C. A., y Mera., G. M. (2021). E*studio de la fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de maíz (Zea mays L.), en una comuna. ALFA*. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 145-152.

Castillo, Á. R., y Ligarreto, G. A. (2010). *Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano*. Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 122-128.

FAO. (2009). *Cómo alimentar al mundo en 2050*. https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf

Guamán, R. N., Vera, T. X., Abril, Á. F., Cortázar, S. M., y Salguero, E. J. (2020). *Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) utilizando cuatro híbridos*. Siembra, 46-59. https://doi.org/doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196

Loja, Á. B., y Herrera., A. M. (2024). *Optimización del recurso hídrico en maíz mediante riego por goteo superficial y subsuperficial*. Revista cientifica, 1-19.

Rojas, W. L., Rojas, J. C., Villalobos, E. V., Hernández, A. A., Aguilar, G. C., y León., G. G. (2023). *Productividad de maíz (Diamantes 8843) bajo diferentes densidades de siembra y dosis de nitrógeno*. Agronomía Mesoamericana, 34(1).

SADER. (2023). *Cultivando el Futuro: Agricultura Sostenible y Sustentable*. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable

Servicio Metereoligico Nacional Conagua. (2025). *Resúmenes Mensuales de Lluvia y Temperatura*. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS] (2014). G*uía Técnica para la Descripción Varietal de Maíz (Zea mays L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Tlalnepantla, Estado de México. México. 39 p.

Valdés, T. D., Ruvalcaba, L. P., Fernández, Y. E., Jiménez, R. L., y López, Á. L. (2014). *Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 32-36.

Capítulo **24**

Efecto de las horas frío sobre las etapas fenológicas del trigo cultivado en el sur de Nuevo León

Moreno Vitela Jesús Rubén[53]
Velasco López José Luis[53]
Ruíz Torres Norma Angélica[53]
Lozano del Río Alejandro Javier[53]
Sánchez Ramírez Francisco Javier[53]

[53] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (01844) 4-11-02-20. (vitelajr1@gmail.com).

Resumen

El cambio climático ha limitado las bajas temperaturas durante el invierno, lo que ha provocado alteraciones en fenología y productividad del trigo; por esta razón se midió la acumulación de horas frío y se determinó el efecto sobre el rendimiento de la biomasa foliar de siete genotipos de trigos harineros. El estudio se realizó en el ejido Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, durante el ciclo O-I 2024-2025, bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Los resultados mostraron que la mayor acumulación de horas frío (715.61 HF) se alcanzó con la siembra del 20 de diciembre 2024 (la primera de la temporada); esta favoreció el periodo vegetativo de hasta 115.57 días (desde la emergencia hasta el inicio de la floración) y mayor producción de biomasa (11.17 t ha-^{1}). La correlación entre horas de frío y biomasa fue positiva ($R^2 = 0.64$). Los resultados mostraron que la acumulación de horas de frío tiene un efecto significativo sobre el desarrollo vegetativo y el rendimiento de biomasa en trigo harinero, destacando la importancia de seleccionar fechas de siembra y genotipos adecuados para ambientes específicos.

Introducción

El cambio climático es una amenaza a la seguridad alimentaria, ya que repercute directamente en la productividad agrícola, donde las variaciones de temperatura como efecto del cambio climático han influido en las respuestas fenológicas de importantes cultivos, como el trigo. En México, durante los últimos 70 años, la temperatura media anual ha ido en aumento, reduciendo las horas frío acumuladas (Murray-Tortarolo, 2021). Este hecho es importante para el manejo del trigo, ya que el cultivo se ve favorecido por las temperaturas frías prolongadas durante el periodo vegetativo, las que promueven el desarrollo fenológico óptimo y una mayor producción de biomasa (Fuentes-Dávila et al., 2023). En el trigo, la tempe-

ratura se considera un factor muy importante, pues induce el desarrollo de la planta. Por ello, resulta relevante aprovechar las condiciones climáticas de temporadas y ambientes específicos para maximizar los rendimientos. Con base en esto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la acumulación de horas frío sobre el rendimiento de la biomasa foliar seca y la duración del periodo vegetativo de genotipos de trigos harineros, para identificar fechas de siembra óptimas para la producción de este cultivo.

Materiales y métodos

El experimento fue establecido en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en el ejido de Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, en las coordenadas 25°02'24" N y 100°37'21" O, a 1895 msnm, con un clima semiseco y con temperatura media anual de 16.1°C. Las actividades de preparación del suelo incluyeron barbecho, rastra y se marcaron los surcos de siembra con la cultivadora. La fertilización fue distribuida antes de la siembra y, cuando el cultivo alcanzó las etapas de encañe y antesis, con una dosis total de 250 N-60 P-30 K. La siembra fue manual a una densidad de 150 kg ha-1. Los riegos se realizaron por aspersión posterior a la siembra y después con un intervalo de 10 días. Los tratamientos se asignaron bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas grandes correspondieron a las fechas de siembra, separadas por un mes a partir del 20 de diciembre de 2024 hasta el 20 de marzo de 2025, y las parcelas chicas los siete genotipos de trigo harinero: cuatro líneas avanzadas (AN-240-13, AN-220-13, AN-275-13 y AN-277-02) y tres variedades como testigo (AN-263-T, AN-193-T y PC-T).

La unidad experimental consistió en cinco hileras de 3 m, separadas a 0.3 m (4.5 m^2). La duración del periodo vegetativo se consideró desde la emergencia (Z10) hasta el inicio de antesis (Z61), en días (DPV). Después, en Z61, se colectó una muestra de 0.30 m^2 de las plantas de cada parcela, se secaron y, cuando alcanzaron un peso constante, se separaron los tallos, hojas y espigas, y se determinó el rendimiento en t h^{-1} de biomasa foliar seca de tallos (RT), hojas (RH), espigas (RE) y total (RB). Las horas frío (HFP) se estimaron con base en lo propuesto por Fuentes-Dávila et al.

(2023), considerando una hora frío como una hora ininterrumpida registrada con una temperatura menor a 10°C; los registros de las temperaturas se obtuvieron de un datalogger HOBO® modelo MX230. Con los datos de las variables se realizaron análisis de varianza, pruebas de comparación de medias (Tukey 0.05), un análisis de correlación de Pearson y análisis de regresión simple con el paquete estadístico SAS 9.0 (SAS, 2002)..

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para la interacción de las fechas de siembra y los genotipos. Para el RB, el genotipo sobresaliente fue PC-T con 14.37 t ha^{-1} para la primera fecha de siembra. A su vez, se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre fechas de siembra y entre genotipos ($p \leq 0.05$). Las pruebas de comparación de medias mostraron al genotipo PC-T con los mayores rendimientos de RB, RH y RT, mientras el genotipo AN-277-02 destacó en el RE (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Comparación de medias de genotipos de trigos harineros para rendimiento de biomasa y sus componentes.*

GEN	RB t ha^{-1}	RH t ha^{-1}	RT t ha^{-1}	RE t ha^{-1}
PC-T	10.07 a	3.07 a	5.31 a	1.68 ab
AN-240-13	8.34 ab	2.82 ab	3.31 b	1.60 ab
AN-193-T	7.72 ab	2.13 bc	3.66 b	1.91 ab
AN-277-02	7.74 ab	2.16 bc	3.39 b	2.18 a
AN-220-13	7.29 b	2.35 abc	3.23 b	1.70 ab
AN-275-13	7.00 b	1.96 c	3.11 b	1.92 ab
AN-263-T	6.86 b	2.25 bc	3.20 b	1.40 b

GEN= Genotipos; RH= Rendimiento de hojas; RT= Rendimiento de tallos; RE= Rendimiento de espigas; RB= Rendimiento de biomasa foliar seca

La primera fecha de siembra (20 de diciembre) fue superior en la acumulación de horas frío con 715.61 HF, con mayor rendimiento de biomasa foliar seca de 11.17 t ha^{-1} y también más duración de periodo vegetativo de 115.57 días. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Amhed et al. (2017) y Solís et al. (2004), quienes indicaron que el rendimiento de biomasa y la duración del ciclo fenológico han sido reducidos en siembras

con fechas tardías, por el aumento de las temperaturas. El motivo por el que hay diferencias significativas entre RT, mientras que los valores de RE son similares entre fechas, puede deberse a que las plantas disponen de mayor cantidad de recursos para la formación de tallos, con la posibilidad de que no todos los tallos produzcan espigas. Los resultados obtenidos fueron similares a los de Cervantes-Ortiz et al. (2019), quienes afirmaron que las fechas de siembra tempranas favorecen el incremento de tallos.

Cuadro 2. *Comparación de medias de horas frío acumuladas, rendimiento de biomasa y duración de periodo vegetativo por fecha de siembra.*

FECHA	HFP	DPV días	RH t ha^{-1}	RT t ha^{-1}	RE t ha^{-1}	RB t ha^{-1}
1	715.61 a	115.57 a	3.43 a	5.75 a	1.98 a	11.17 a
2	494.04 b	95.81 b	2.53 b	3.25 b	1.94 ab	7.73 b
3	332.66 c	79.47 c	1.83 c	2.92 b	1.63 ab	6.32 b
4	167.95 d	64.04 d	1.76 c	2.84 b	1.53 b	6.22 b

HFP= Horas frío acumuladas durante el periodo vegetativo total; RB= Rendimiento de biomasa foliar seca; DPV= Duración de periodo vegetativo; RT= Rendimiento de tallos; RH= Rendimiento de hojas; RE= Rendimiento de espigas.

Los análisis de correlación mostraron una relación positiva y significativa entre el rendimiento de biomasa foliar seca y las horas frío del periodo vegetativo de r=0.64; sin embargo, se observó menor correlación entre la acumulación de horas frío durante la etapa de macollaje de r=0.47. La duración del periodo vegetativo también se correlacionó de forma positiva con las horas de frío del periodo vegetativo con r=0.95 (Cuadro 3). Los valores de correlación altos indicaron que los genotipos presentan tolerancia a temperaturas frías durante el periodo vegetativo. Esto sugiere que el rendimiento de biomasa foliar seca y la duración del periodo vegetativo fueron favorecidos por la acumulación de horas frío a lo largo de todo el desarrollo vegetativo.

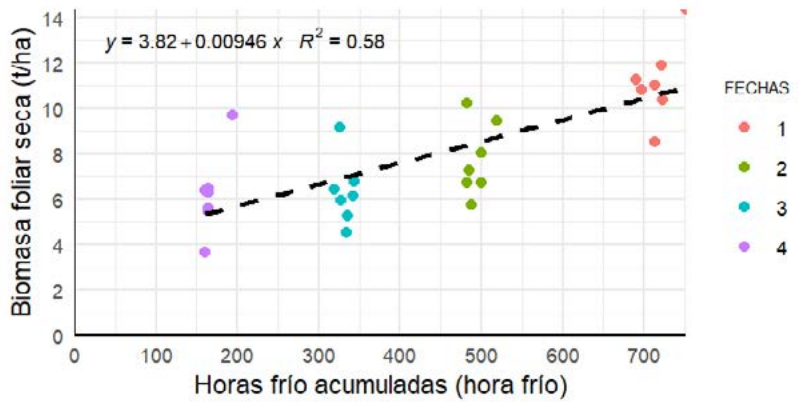
Cuadro 3. *Valores de correlación de Pearson entre la variable acumulación de horas frío, rendimiento de biomasa foliar seca y duración del periodo vegetativo*

	HFMAC	RB	DPV
HFP	0.77**	0.64**	0.95**
HFMAC	1	0.46**	0.75**
RB		1	0.68**

** significativo a 0.01 de probabilidad; HFMAC= Horas frío acumuladas durante el periodo de amacollamiento; RB= Rendimiento de biomasa foliar seca; DPV= Duración de periodo vegetativo;

En el análisis de regresión lineal se encontró una asociación positiva y significativa (R2 = 0.58) entre el rendimiento de biomasa foliar seca y las horas frío del periodo vegetativo. En este, por cada hora frío acumulada adicional, aumenta el rendimiento de biomasa foliar seca en 9.46 kg ha^{-1}, partiendo de 3.82 t ha^{-1} (Figura 1).

Figura 1. *Relación entre rendimiento de biomasa foliar seca y acumulación de horas frío.*



Conclusiones

La mayor acumulación de horas frío propició que el genotipo PC-T se destacara con mayores rendimientos de RB, RH, RE y RT. El rendimiento de biomasa foliar seca fue explicado por los componentes tallos, espigas y hojas. La fecha de siembra temprana fue la que acumuló la mayor cantidad de horas frío, mayor rendimiento de biomasa foliar y la que registró la mayor duración del periodo vegetativo. Finalmente, se encontró una aso-

ciación positiva entre la acumulación de horas frío, la duración del periodo vegetativo y el rendimiento de biomasa foliar.

Referencias

Amhed, M., Aslam, M., Stöckle, C., Higgins, S. S., Hassan, F., y Hayat, R. (2017). *Can growing degree days and photoperiod predict spring wheat phenology?* Frontiers in Environmental Science, 5, 57. https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00057

Cervantes-Ortiz, F., Noriega-Carmona, M. A., Solís-Moya, E., Andrio-Enríquez, E., Rangel-Lucio, J. A., Rodríguez-Pérez, G. y García-Rodríguez, J. G. (2019). *Efecto de la fecha de siembra sobre la calidad de semilla de trigo en el Bajío, México.* Revista fitotecnia mexicana, 42(4), 375-384.

Fuentes-Dávila, G., Torres-Cruz, M. M., y Félix-Valencia, P. (2023). *Cold units and their relationship with wheat grain yield in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico*. GSC online press, 17(3), 73–80.

Murray-Tortarolo, G. (2021). *Seven decades of climate change across Mexico*. Atmósfera, 34(2), 217-226.

SAS, Institute, Inc. (2002). *Version 9.0 of system SAS for Windows, copyright.* SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

Solís M. E., Hernández M., A. Borodanenko, J. L. Aguilar A. y O. A. Grajeda C. (2004). *Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo.* Revista Fitotecnia Mexicana, 27(4), 323-332.

Capítulo **25**

Evaluación del rendimiento de grano de trigos harineros en tres densidades de siembra

Trejo Martinez Carlos[54]
Velasco López José Luis[54]
Ruíz Torres Norma Angélica[54]
Espitia Hernández Pilar[54]
Sosa Flores Mayra Alejandra[54]
Colín Rico Modesto[54]

[54] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro1. Departamento de Fitomejoramiento, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (01844) 4-11-02-20 (ljose1924@gmail.com).

Resumen

El trigo es uno de los cereales con mayor producción a nivel mundial y es considerado un alimento básico para millones de personas. Por su importancia nutricional y económica, resulta fundamental incrementar su productividad en diferentes regiones y épocas del año. Al sur de Nuevo León existen condiciones climáticas favorables para su cultivo tanto en otoño-invierno (O-I) como en primavera-verano (P-V). En este contexto, se desarrolló el presente estudio con el objetivo de evaluar el efecto de tres densidades de siembra sobre el rendimiento de grano en diez genotipos de trigo harinero, durante dos ciclos de cultivo (P-V 2024, O-I 2024-2025) en Navidad, Galeana, Nuevo León. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones y arreglo de parcelas divididas. Los resultados mostraron que la densidad de siembra 300 kg ha^{-1} superó a las de 200 y 100 kg ha^{-1}, recomendándose su uso para la región del valle de Navidad. El ciclo O-I 2024-2025 alcanzó un rendimiento significativamente superior (3.59 t ha^{-1}) comparado con el ciclo P-V 2024. Cinco genotipos mostraron rendimientos similares al testigo Borlaug 100. Estos resultados identificaron genotipos y densidades de siembra óptimas, ofreciendo alternativas viables a productores de la región.

Introducción

El trigo es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial por su relevancia en la alimentación humana y su versatilidad para adaptarse a una amplia variedad de condiciones ambientales (Hyles et al., 2020). No obstante, se pronostica que en los próximos 25 años la demanda de este grano aumentará significativamente, debido al crecimiento de la población. En este contexto, es indispensable desarrollar nuevas variedades con mayor potencial de rendimiento y resilientes a las condiciones adversas, así como implementar prácticas agronómicas adaptadas a cada región, que

permitan aumentar el potencial genético sin comprometer los recursos naturales. La siembra con densidades de semilla óptimas por superficie es una de las prácticas fundamentales para alcanzar altos niveles de productividad, ya que contribuye a expresar el potencial de rendimiento de las variedades, optimizar el uso de recursos económicos y favorecer la conservación del agua y del suelo (Soomro et al., 2009). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de tres densidades de siembra sobre el rendimiento de grano en diez genotipos de trigo harinero, durante dos ciclos de cultivo (P-V 2024, O-I 2024-2025) en Navidad, Galeana, Nuevo León. La información generada busca ofrecer a los productores de esta región estrategias que les permitan aprovechar de manera eficiente sus recursos.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante los ciclos agrícolas P-V 2024 y O-I 2024-2025 en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicado en el ejido Navidad, Galeana, Nuevo León. Se evaluaron nueve genotipos de trigo harinero proporcionados por el programa de mejoramiento de la UAAAN, utilizando como testigo la variedad comercial Borlaug 100. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. La parcela grande correspondió a tres densidades de siembra (100, 200 y 300 kg ha^{-1}) y la parcela chica a los 10 genotipos de trigo harinero. La preparación del suelo incluyó un paso de barbecho y dos de rastra, seguido del trazado de surcos. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por cinco hileras de 5 m de longitud, separadas a 0.30 m, lo que representó una superficie total de 7.5 m^2. La fertilización inicial consistió en 60 y 90 kg ha^{-1} de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Durante la etapa fenológica de encañe se aplicaron 140 kg ha^{-1} de nitrógeno, y en espigamiento 30 kg ha^{-1} de nitrógeno adicionales. Los riegos fueron aplicados con una frecuencia de cada 10 días, desde la siembra hasta la etapa de llenado de grano mediante aspersión. El control de malezas se llevó a cabo durante la etapa de macollamiento con 2,4D-Amina® (1.5 L ha^{-1}). En la cosecha, se cortaron plantas de dos hileras centrales de cada parcela

y se trillaron con una trilladora estacionaria. El grano obtenido se pesó y se extrapoló a rendimiento (t ha^{-1}). Con los datos de rendimiento de grano se realizaron análisis de varianza ($p \leq 0.01$) y pruebas de comparación de medias mediante Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en las interacciones dobles Ciclo x Densidad y Ciclo x Genotipo. Asimismo, se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en los efectos principales: Ciclo, Densidad y Genotipo (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Análisis de varianza del rendimiento de grano de 10 genotipos de trigo harinero bajo tres densidades de siembra en los ciclos P-V 2024 y O-I 2024-2025 en Navidad, Nuevo León.*

F.V.	G.L.	C.M.
Ciclo	1	177.57 **
Bloque	2	0.46
Error (a)	2	0.10
Densidad	2	9.22 **
Ciclo x Densidad	2	2.20 **
Error (b)	8	0.70
Genotipo	9	3.69 **
Ciclo x Genotipo	9	3.70 **
Densidad x Genotipo	18	0.42 ns
Ciclo x Genotipo x Densidad	18	0.38 ns
Error	108	0.31
Total	179	

F.V.= Fuente de variación; G.L.= grados de libertad; C.M.= Cuadros medios; Valores altamente significativos **= $p \leq 0.01$; ns = no significativo.

La prueba de medias entre ciclos (Cuadro 2) mostró que el rendimiento fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en el ciclo O-I 2024-2025 (3.59 t ha^{-1}), lo que representó un incremento del 124,4 % respecto al ciclo P-V 2024 (1.60 t ha^{-1}). Es posible que esta diferencia se deba a que, durante la etapa reproductiva, las temperaturas en el ciclo O-I se mantuvieron más

cercanas a las óptimas (21-24°C), lo que favoreció al llenado de grano (Solís et al., 2007). Además, Suaste-Franco et al. (2013) reportaron que el rendimiento de las variedades tiende a reducirse bajo condiciones de altas temperaturas y mayor competencia entre plantas.

La prueba de medias entre las densidades de siembra mostró que 300 kg ha^{-1} obtuvo el valor más alto de rendimiento de grano con 3.0 t ha^{-1}, seguido de 200 y 100 kg ha^{-1} (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan con los de Suaste-Franco et al. (2013), quienes reportaron que el incremento en la densidad de siembra favorece el rendimiento de grano en trigo.

Cuadro 2. *Prueba de medias para el rendimiento de grano en dos ciclos agrícolas y tres densidades de siembra en Navidad, Nuevo León.*

Ciclos	**Rendimiento grano (t ha^{-1})**	**Densidades (kg ha^{-1})**	**Rendimiento grano (t ha^{-1})**
O-I 2024-2025	3.59 a	300	3.00 a
P-V 2024	1.60 b	200	2.58 b
		100	2.21 c

Ciclos: otoño-invierno= (O-I) 2024-2025; primavera-verano= (P-V) 2024. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la comparación entre genotipos (Cuadro 3), se identificaron cinco materiales: AN-275-13, AN-396-13, AN-91-98, AN-277-02, AN-173-15, con rendimientos de grano estadísticamente iguales al testigo Borlaug 100. Además, en este grupo se observó al genotipo AN-275-13 con un rendimiento del 16,1 % más que el testigo.

Cuadro 3. *Prueba de medias para rendimiento de grano de 10 genotipos de trigo harinero durante los ciclos P-V 2024 y O-I 2024-2025 en Navidad, Nuevo León.*

Genotipo	Rendimiento grano (t ha-1)
AN-275-13	3.18 a
AN-396-13	2.97 ab
AN-91-98	2.93 abc
AN-277-02	2.81 abc
Borlaug 100	2.74 abc
AN-173-15	2.67 abc
AN-178-98	2.58 bc
AN-39-02	2.37 cd
AN-165-15	1.88 d
AN-14-15	1.82 d

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conclusiones

La densidad de siembra de 300 kg ha-1 superó a las de 200 y 100 kg ha^{-1}, por lo que se recomienda su uso en la región del valle de Navidad, Galeana, Nuevo León. El ciclo O-I 2024-2025 presentó un rendimiento de grano superior al ciclo P-V 2024, posiblemente debido a condiciones ambientales más favorables para el llenado de grano. Los genotipos AN-275-13, AN-396-13, AN-91-98, AN-277-02 y AN-173-15 mostraron rendimientos similares al testigo Borlaug 100. Por lo que estos materiales pueden ser una alternativa de siembra para los productores de esta región.

Referencias

Hyles, J., Bloomfield M. T., Hunt, J. R., Trethowan, R. M., Trevaskis, B. (2020). *Phenology and related traits for wheat adaptation.* The Genetics Society, 125 (6), 417–430. https://doi.org/10.1038/s41437-020-0320-1

Solís M., E., S. A. Ríos R., H. García N., A. Arévalo V., O. A. Grageda C., M. A. Vuelvas C., J. G. Días de León T., J. L. Aguilar A., A. Ramírez R., J. Narro S., R. Bujanos M., A. Marín J., y R. Peña M. (2007). *Producción de trigo de riego en el Bajío.* Folleto Técnico Núm. 3. INIFAP, Campo Experimental Bajío. 94 .

Soomro, U. A., M. U. Rahman, E. A. Odhano, S. Gul, and A. Tareen. (2009). *Effects of sowing method and seed rate on growth and yield of wheat (Triticum aestivum)*. World Journal of Agricultural Sciences 5 (2), 159-162.

Suaste-Franco, M. Pilar, Solís-Moya, Ernesto, Ledesma-Ramírez, Lourdes, de la Cruz-Gonzalez, M. Lourdes, Grageda-Cabrera, O. Arath, y Báez-Pérez, Aurelio. (2013). *Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (Triticum aestivum L.) en el Bajío, México.* Agrociencia, 47(2), 159-170. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S1405-31952013000200005ylng=esytlng=es.

Capítulo **26**

Evaluación del rendimiento de forraje seco de trigos forrajeros en tres densidades de siembra

Tun Cauich Juan Gregorio[55]
Velasco López José Luis[55]
Ruíz Torres Norma Angélica[55]
Lozano del Río Alejandro Javier[55]
Espitia Hernández Pilar[55]
Colín Rico Modesto[55]

[55] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro1. Departamento de Fitomejoramiento, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (01844) 4-11-02-20. (ljose1924@gmail.com).

Resumen

El trigo forrajero se aprovecha principalmente en sus etapas vegetativas para la alimentación del ganado, ya sea en pastoreo, heno o ensilaje. Es considerado un forraje nutritivo gracias a su aporte en proteína y fibra. Estas características lo convierten en una alternativa viable para la producción de forraje durante el invierno. Bajo este contexto se desarrolló el presente estudio con el objetivo de evaluar el efecto de tres densidades de siembra sobre el rendimiento de forraje seco y grano de siete genotipos de trigos forrajeros durante los ciclos primavera-verano (P-V) 2024 y otoño-invierno (O-I) 2024-2025, en una localidad del sur de Nuevo León. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas. Los resultados mostraron que el ciclo agrícola O-I 2024-2025 presentó los mayores rendimientos, con 9.17 t ha^{-1} de forraje y 1.42 t ha^{-1} de grano. Entre los genotipos evaluados, AN-240-13 destacó en rendimiento, obteniendo 10.93 t ha^{-1} de forraje y 1.89 t ha^{-1} de grano. Por lo tanto, este genotipo puede ser una alternativa en la región para la producción de doble propósito y la posibilidad de cultivarse en dos ciclos anuales.

Introducción

El trigo es uno de los principales cereales para la alimentación humana, proporciona la quinta parte de los alimentos del mundo, es la principal fuente de proteínas en varios países y es la segunda fuente de calorías a nivel mundial, después del arroz. Además, la biomasa aérea de la planta se utiliza como forraje para la alimentación del ganado, gracias a su alto contenido en proteínas, vitaminas y carbohidratos. En regiones áridas, caracterizadas por la escasez de agua, altas temperaturas en verano y periodos prolongados de frío en el invierno, los trigos forrajeros se han convertido en una alternativa viable para la producción de forraje. Esto se debe a su mayor tolerancia al frío, calor y sequía, en comparación con los

cultivos tradicionales como la alfalfa y la avena, los cuales presentan bajos rendimientos en dichas condiciones (Ramírez et al., 2021). En México existen pocas variedades de trigos forrajeros y se ha prestado una limitada atención al estudio de prácticas agronómicas que permitan aprovechar su potencial genético. Entre ellas, la densidad de siembra es un factor fundamental, ya que valores superiores o inferiores a los óptimos pueden impactar negativamente sobre el rendimiento de grano (Whaley et al., 2000). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres densidades de siembra sobre el rendimiento de forraje seco y grano de siete genotipos de trigos forrajeros durante dos ciclos de cultivo en una localidad del sur de Nuevo León.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante los ciclos agrícolas P-V 2024 y O-I 2024-2025 en el Campo Experimental de la UAAAN, ubicado en Galeana, N. L. Los tratamientos fueron organizados bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela grande correspondió a las densidades de siembra con tres niveles: 100, 200 y 300 kg ha^{-1}, y la parcela chica incluyó siete genotipos de trigos harineros proporcionados por la UAAAN: 1) AN-240-13, 2) AN-241-13, 3) AN-220-13, 4) AN-236-99, 5) AN-217-09, 6) AN-244-09, 7) AN-409-13. Las unidades experimentales consistieron en cinco hileras de 5 m de longitud, con separación de 0.30 m, para una superficie total de 7.5 m^2. Se realizaron las labores de preparación del suelo con un paso de arado, dos pasos de rastra, y se marcaron las líneas de siembra con timones a cada 0.30 m. Las siembras se realizaron manualmente el 8 de julio de 2024 y el 10 de febrero de 2025. El riego se aplicó por aspersión cada 10 días y la fertilización se efectuó con una dosis de 230-90-00 (N-P-K). Para el control de malezas se aplicó 2,4D-Amina a razón de 1.5 L ha^{-1}. En la etapa de floración, se cosecharon 0.50 m de una hilera central por parcela para registrar el peso en verde; posteriormente, se secaron en un asoleadero y se determinó el rendimiento de forraje seco (t ha^{-1}). Cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica (Z89) (Zadoks et al., 1974), se recolectaron dos hileras centrales por parcela, se trillaron con una trilladora estacionaria

y se estimó el peso del grano de cada parcela para extrapolar a rendimiento de grano en t ha^{-1}. Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza ($p \leq 0.01$) y pruebas de comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

Forraje seco

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el rendimiento de forraje (Cuadro 1), para las interacciones ciclo x densidad x genotipo, densidad x genotipo, ciclo x densidad; así como en los efectos principales de densidad y genotipo. Las pruebas de medias mostraron rendimientos similares entre los ciclos P-V 2024 y O-I 2024-2025, con 8.79 y 9.17 t ha^{-1}, respectivamente (Cuadro 2). En cuanto a la densidad de siembra, la cantidad de 300 kg ha-1 fue superior con 9.67 t ha^{-1} (Cuadro 3). Asimismo, los genotipos AN-240-13 y AN-241-13 alcanzaron 10.93 y 10.26 t ha^{-1}, respectivamente, superando al resto de los genotipos evaluados. Por lo tanto, el rendimiento de forraje seco de los trigos forrajeros estuvo determinado principalmente por la densidad de siembra, independiente del ciclo de cultivo (Anderson e Impiglia, 2002). Este aspecto resulta relevante para la región sur de Nuevo León, donde los productores pueden cultivar dos ciclos por año, con siembras a finales de invierno y de verano. Por consiguiente, los trigos forrajeros pueden ser una alternativa viable como cultivo destinado a la producción de forraje en la región.

Rendimiento de grano

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el rendimiento de grano, en las interacciones ciclo x densidad x genotipo, densidad x genotipo, ciclo x genotipo; así como efectos principales de genotipo, densidad y ciclo (Cuadro 1). La comparación de medias indicó que el ciclo O-I 2024-2025 registró un rendimiento de 20.40 % superior, con 1.42 t ha^{-1}, respecto al ciclo P-V

2024, que alcanzó 1.13 t ha^{-1} (Cuadro 2). Además, la densidad de siembra de 300 kg ha-1 presentó el mayor rendimiento con 1.43 t ha^{-1} (Cuadro 3). Entre los genotipos evaluados, AN-240-13 con 1.89 t ha^{-1} fue superior significativamente al resto de los genotipos (Cuadro 4). Cabe señalar que el menor rendimiento de grano observado en el ciclo P-V 2024 pudo deberse a heladas tempranas ocurridas en septiembre, cuando el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de grano lechoso, lo que ocasionó quemaduras en las hojas y afectó el llenado de grano. Sin embargo, el rendimiento puede incrementarse mediante el uso de genotipos de trigo con mejor respuesta a altas densidades de siembra.

Cuadro 1. *Cuadrados medios del ANOVA para rendimiento de forraje y grano en genotipos de trigo forrajero evaluadas en dos ciclos y tres densidades de siembra en Navidad, Nuevo León.*

F.V.	**G.L.**	**Rendimiento de Forraje (t ha-1)**	**Rendimiento de grano (t ha-1)**
Repetición	2	1.89^{ns}	0.62**
Ciclo	1	3.22^{ns}	2.76**
F.V.	**G.L.**	**Rendimiento de Forraje (t ha^{-1})**	**Rendimiento de grano (t ha^{-1})**
Error (a)	2	3.19	0.32
Densidad	2	16.26**	0.93**
Ciclo χ Densidad	2	13.33**	0.17^{ns}
Error (b)	8	2.76	0.07
Genotipo	6	26.43 **	1.56**
Ciclo χ Genotipo	6	4.54^{ns}	1.32**
Densidad χ Genotipo	12	18.14**	0.13**
Ciclo χ Densidad χ Genotipo	12	11.22**	0.29**
Error	72	2.06	0.05
Total	125		

F.V. = Fuente de variación; G.L. = grados de libertad. Valores altamente significativos **= $p \leq 0.01$; ns = no significativo.

Cuadro 2. *Comparación de medias entre ciclos para rendimiento de forraje y grano en genotipos de trigo forrajero.*

Ciclos	Rendimiento de Forraje (t ha^{-1})	Rendimiento de grano (t ha^{-1})
O-I 2024-2025	9.17 [a]	1.42 [a]
P-V 2024	8.79 [a]	1.13 [b]

O-I 2024-2025= Ciclo otoño invierno 2024-2025; P-V 2024= Ciclo Primavera Verano 2024; DMS= diferencia mínima significativa; medias con la misma letra no son significa tivamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro 3. *Comparación de medias entre densidades de siembra para rendimiento de forraje y grano en genotipos de trigo forrajero.*

Densidades	Rendimiento de Forraje (t ha^{-1})	Rendimiento de grano (t ha^{-1})
300 kg ha-1	9.67 [a]	1.43 [a]
200 kg ha-1	8.68 [b]	1.26 [b]
100 kg ha-1	8.52 [b]	1.14 [c]

DMS= diferencia mínima significativa; medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro 4. *Comparación de medias entre genotipos de trigo forrajero para rendimiento de forraje y grano.*

Genotipos	Rendimiento de Forraje (t ha^{-1})	Rendimiento de grano (t ha^{-1})
AN-240-13	10.93 [a]	1.89 [a]
AN-241-13	10.26 [ab]	1.38 [b]
AN-220-13	9.01 [bc]	1.27 [bc]
AN-236-99	8.70 [c]	1.20 [cd]
AN-217-09	8.03 [c]	1.10 [cd]
AN-244-09	7.98 [c]	1.09 [d]
AN-409-13	7.78 [c]	1.01 [bcd]

DMS= diferencia mínima significativa; medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

El rendimiento de forraje seco estuvo determinado principalmente por la densidad de siembra y el genotipo, mientras que el efecto del ciclo no influyó. Por su parte, el rendimiento de grano se encontró fuertemente influenciado por los tres factores: ciclo, densidad y genotipo. La densidad de 300 kg ha^{-1} resultó la más productiva, y el genotipo AN-240-13 destacó como una opción de doble propósito, combinando alto rendimiento de forraje y grano. Estos resultados muestran que el trigo forrajero representa una alternativa viable y flexible para el sur de Nuevo León, con la posibilidad de establecerse en dos ciclos de cultivos por año.

Referencias

Anderson, W. K., y Impiglia, A. (2002). Management of dryland wheat. In: Curtis, B.C., Rajaram, S. and Gómez H. (eds). *Bread Wheat: Improvement and Production. FAO* Plant Production and Protection Series, 30. http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e0s.htm#bm28

Whaley, J.M., Sparkes, D.L., Foukes, M.J., Spink, J.H., Semere, T., y Scott, R.K. (2000). *The physiological response of winter wheat to reductions in plant density*. Annals of Applied Biology, 137, 165-177. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2000.tb00048.x

Ramírez Pérez, L. O., Zamora Villa, V. M., Colín Rico, M., y De León Castillo, H. (2021). *Interacción genotipo ambiente en fracciones de forraje de trigos en tres muestreos.* Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 12(3), 485-498. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2621

SAS, Institute, Inc. (2002). Version 9.0 of system SAS for Windows, copyright. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., y Konzak, C. F. (1974). *A decimal code for the growth stages of cereals*. Weed Research, 14, 415-421. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

Capítulo **27**

Influencia de la nutrición química y orgánica sobre el rendimiento de maíz azul (*Zea mays* L.) durante el ciclo primavera-verano en el Valle de Mexicali, B.C

Uribe Orozco María Elena[56]
Durán Hernández Dagoberto[56*]
Munguía Cariño Gamaliel[56]
Galicia Juárez Marisol[56]
Basilio Cortés Ulin Antobelli[56]
González Mendoza Daniel[56]
Michel López Claudia Yared[56]
Soto Ortiz Roberto[56]
Joya Dávila José Gregorio[56]

[56] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n C.P. 21705. Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California, México *ddurn@uabc.edu.mx.

Resumen

Los extractos de algas marinas representan una alternativa para reducir la fertilización química debido al aporte de macro y micronutrientes, así como de compuestos bioactivos, como fitorreguladores, que estimulan el desarrollo de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento del maíz azul (*Zea mays* L.) bajo la combinación de fertilización química y extracto de algas marinas durante el ciclo primavera-verano en el Valle de Mexicali, B.C. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, considerando seis tratamientos: comprendiendo fertilización química (240-80-60 kg/ha), disminuyéndose gradualmente en 25 %; el extracto de algas (6 L/ha cada 20 días) se mantuvo constante; el testigo fue sin fertilización. Se evaluaron la altura de la planta, índice de verdor (SPAD), longitud y diámetro de la mazorca, número de hileras y granos por mazorca, peso de grano, peso de olote y rendimiento. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($p < 0.05$) para identificar diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T4 presentó mayor altura de planta, índice SPAD, longitud y peso de mazorca, además de obtener el mayor rendimiento (3807.76 kg/ha). Estos resultados demuestran la posibilidad de disminuir la fertilización química, sin afectar el rendimiento, utilizando extracto de algas marinas para un manejo sostenible, amigable con el ambiente y eficiente en el cultivo de maíz azul en condiciones semiáridas del Valle de Mexicali, B.C.

Introducción

Los extractos de algas marinas se consideran aditivos de los fertilizantes químicos, ya que favorecen una mejor absorción de nutrientes, estimulan el crecimiento vegetal y mejoran la tolerancia de las plantas al estrés abiótico (Drobek et al., 2019). Por ello, se evaluó un producto comercial NPKelp® de algas marinas en la producción de maíz azul en el Valle de

Mexicali, Baja California, donde no se tienen antecedentes documentados de su cultivo, abriendo nuevas posibilidades para la diversificación agrícola y una agricultura sustentable.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en 2024 en el campo experimental del (ICA-UABC), ubicado en el Ejido Nuevo León, Mexicali, B.C. Las semillas de maíz azul (*Zea mays* L.) fueron donadas por un agricultor del Valle de Metztitlán, Hidalgo. Se preparó el terreno: barbecho, rastreo, nivelación del terreno y surcado. Se evaluaron seis tratamientos: un testigo (sin fertilización), T2 con fertilización química completa (240-80-60 kg/ha), T3 con 240-80-60 kg/ha y 6 L/ha de extracto NPKelp®, los T4 a T6 con reducción progresiva de 25 % en la fertilización química, manteniendo constante el extracto.

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental consistió en cuatro surcos de 5 x 4 m. La siembra se realizó el 8 de marzo y la cosecha el 30 de agosto de 2024. El riego fue por goteo, cada tercer día, durante tres horas, a 10 bar de presión.

La maleza se controló manualmente. Para plagas, se aplicaron los siguientes insecticidas: Premio® 20 SC para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*); Muralla Max® de Bayer para la pulga saltona (*Epitrix cucumeris*) y Mustang Max®, para el pulgón (*Rhopalosphum maidis*).

Variables en plantas y mazorca

Se midió la altura (m) de diez plantas por tratamiento y repetición, ubicadas en los surcos dos y tres, en la parte central de cada unidad experimental, a los 40, 70 y 90 días después de la siembra. El índice de verdor se registró con un medidor SPAD-502 Plus, tomando lectura de tres plantas seleccionadas al azar de la parte central.

En la cosecha, se seleccionaron las mazorcas de las diez plantas centrales para evaluar: longitud (regla), diámetro (vernier digital (Mitutoyo, Japón), número de hileras y granos por mazorca, peso de olote y rendimiento, estos dos últimos determinados con una balanza analítica (OHAUS-PIONEER, USA).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el software SPSS, versión 23. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon mediante la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Se evaluó la altura de las plantas en el cultivo de maíz azul (Tabla 1) a los 40, 70 y 90 días después de la siembra, así como el índice de verdor (unidades SPAD) a los 92 días. Los tratamientos presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). A los 40 días, el tratamiento T2 presentó mayor altura, con 11.50 cm. A los 70 y 90 días, todos los tratamientos superaron en altura al testigo.

En cuanto al índice de verdor a los 92 días, El tratamiento T4 mostró el valor más alto con 73.56 unidades SPAD. Según Castellanos-Reyes et al. (2017), valores mayores a 50 unidades SPAD en etapa de floración favorecen la translocación de nutrientes, lo que contribuye a un buen llenado de grano y rendimiento.

Tabla 1. *Efecto de la fertilización química y el extracto de algas sobre las plantas de maíz azul*

Tratamientos	**Altura de planta - última hoja ligulada (cm)**			**Índice de verdor (unidades SPAD)**
	Día 40	Día 70	Día 90	92 días
T1: Control	9.19b	124.33b	207.40b	41.66d
T2:240N-80P-60K kg/ha	11.50a	149.60a	238.80a	61.00b
T3:240N-80P-60K kg/ha; 6 L/ha	9.69b	153.43a	239.80a	69.32a
T4:180N-60P-45K kg/ha; 6 L/ha	9.71b	143.26a	244.20a	73.56a
T5:120N-40P-30K kg/ha; 6 L/ha	10.35ab	153.33a	244.03a	53.28c
T6:60N-20P-15K kg/ha; 6 L/ha	9.93b	147.56a	244.10a	56.73bc

Las letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Por otra parte, en la Tabla 2 se presentan los resultados de las variables anali-

zadas en la mazorca durante el ciclo primavera-verano 2024. La longitud de la mazorca (LM) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$), destacando el tratamiento T4 con la mayor longitud, 12.96 cm. En las variables diámetro, número de hileras y granos en mazorca no se observaron diferencias significativas.

En cuanto a peso de grano, el tratamiento T4 registró el mayor peso con 47.59 g, mientras el peso de olote fue mayor en el tratamiento T5, con 23.95 g. El rendimiento más alto se obtuvo en el tratamiento T4, con 3807.73 kg/ha. Estos resultados difieren de los reportados por Caballero Salinas et al. (2023), quienes obtuvieron rendimientos de 2470 y 5370 kg/ha de dos variedades criollas, con una densidad de siembra de 50 000 plantas/ha. Esta diferencia podría atribuirse a la menor densidad de siembra y al uso exclusivo de biofertilizantes y extractos vegetales, sin agroquímicos.

Tabla 2. *Efecto de la fertilización química y el extracto de algas sobre parámetros morfológicos y de rendimiento de la mazorca de maíz azul.*

Tratamientos	LM	DM	HM	GH	PG	PO	Ren
	cm		conteo		g		kg/ha
T1: control	11.01b	4.08a	13.60a	21.97a	20.46c	16.34b	1527.33c
T2: 240N-80P-60K kg/ha	12.11ab	4.18a	13.73a	25.77a	45.10a	18.72ab	3488.00a
T3: 240N-80P-60K kg/ha; 6L/ha extracto	11.95ab	4.25a	14.07a	24.60a	42.33a	19.71ab	3386.40a
T4: 180N-60P-45K kg/ha; 6L/ha extracto	12.96a	4.14a	13.97a	25.60a	47.59a	20.01ab	3807.73a
T5: 120N-40P-30K kg/ha; 6L/ha extracto	12.91a	4.23a	13.40a	24.37a	29.59b	23.95a	2367.46b
T6: 60N-20P-15K kg/ha; 6L/ha extracto	12.94a	4.15a	12.97a	24.33a	23.36bc	20.44ab	1806.66c

LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; HM: Hileras en mazorca: GH: granos en hilera; PG: peso grano: Ren: rendimiento y PO: peso de olote. Letras diferentes presentan diferencias significativas, Tukey ($p \leq 0.05$)

Conclusiones

El tratamiento T4 destacó por registrar la mayor longitud de mazorca, peso de grano y rendimiento, con 3807.76 kg/ha. Estos resultados sugieren que es posible reducir la fertilización química sin comprometer el desarrollo y la productividad del cultivo, mediante el uso complementario del extracto de algas.

Referencias

Caballero Salinas, J. C., Pizaña Vidal, H. A., González Cabañas, A. A., Núñez Ramos, E., Aguilar Cruz, F., y Ovando Salinas, E. (2023). *Composición morfológica y rendimientos de maíces nativos sin uso de agroquímicos en Chiapas, México*. Siembra, 10(2). https://doi.org/10.15359/siembra.10-2.3

Drobek, M., Frac, M. y Cybulska, J. (2019). *Plant Biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic Stress*. A review. Agronomy 9, 335

Castellanos-Reyes, M. A., Valdés-Carmenate, R., López-Gómez, A., y Guridi-Izquierdo, F. (2017). *Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz*. Cultivos ropicales, 38(3), 112–116. https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/16

Capítulo **28**

Interacción genotipo x ambiente (*Iga*) del rendimiento de grano en trigos cristalinos

Velasco López José Luis[57]
Ruíz Torres Norma Angélica[57]
Hernández Martínez Rosendo[58]
Sosa Flores Mayra Alejandra[57]
Espitia Hernández Pilar[57]
Lozano del Río Alejandro Javier [57]
Colín Rico Modesto[57]

[57] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (01844) 4-11-02-20. (ljose1924@gmail.com).
[58] 2Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Las Huastecas. Carretera Tampico-Mante km. 55, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México. C. P. 89603.

Resumen

El trigo cristalino es uno de los principales cereales a nivel mundial y representa un cultivo estratégico para México, donde gran parte de la producción se destina al consumo humano. No obstante, su productividad se ve limitada principalmente por factores ambientales. En este contexto, resulta fundamental evaluar el comportamiento productivo de los genotipos bajo diferentes condiciones, siendo el análisis de interacción genotipo × ambiente (IGA) una herramienta clave para identificar materiales con mayor estabilidad y adaptación en las regiones semiáridas del norte del país. El objetivo de este estudio fue evaluar la IGA del rendimiento de grano de 50 genotipos de trigo duro en tres ambientes ubicados en los estados de Nuevo León y Coahuila durante los ciclos agrícolas primavera-verano (P-V) 2023, otoño-invierno (O-I) 2023-24 y O-I 2024-25. Los experimentos se realizaron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, y los datos se analizaron mediante el modelo AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa). Los resultados mostraron una IGA significativa para el rendimiento de grano en trigo duro. El análisis AMMI identificó nueve genotipos estables en los tres ambientes, cuyos rendimientos fueron superiores al testigo (25-41 %). Estos hallazgos demuestran que existen materiales con potencial para su uso en ambientes y ciclos específicos. Por lo tanto, algunos de estos genotipos pueden recomendarse a los productores de la región por su potencial productivo y estabilidad.

Introducción

El trigo es uno de los cereales de mayor importancia para la alimentación humana, debido a su alto aporte energético y contenido de proteínas; por esta razón, el 60 % de la producción mundial es destinada para el consumo humano (CANIMOLT, 2017). En México, durante el ciclo agrícola de O-I 2023-2024, se produjeron 1,87 millones de toneladas de trigo duro (Perea,

2025). Cabe destacar que en este mismo ciclo se incrementó un 24 % con relación a la superficie sembrada en regiones de temporal, aunque el rendimiento se redujo en un 18 % debido a la escasez de agua para riego (Perea, 2025). Por otro lado, en los estados de Nuevo León y Coahuila, durante el ciclo O-I 2023-2024 se sembraron 13 302 y 4865 ha de trigo duro, respectivamente, con rendimientos promedio de 2.05 y 3.39 t ha^{-1} (SIAP, 2025). Estos valores se encuentran por debajo de la media nacional, que fue de 6.5 t ha^{-1} (SIAP, 2024). Los bajos rendimientos se asocian a factores como la escasez de agua para riego, las altas temperaturas durante la etapa de llenado de grano y la presencia de plagas y enfermedades. Ante esta situación surge la necesidad de desarrollar nuevas variedades con mayor potencial productivo, adaptación y estabilidad a diferentes ambientes (Hernández et al., 2018). Para ello, el análisis AMMI es una herramienta estadística importante, ya que proporciona información valiosa sobre la IGA (Rodríguez et al. 2011). Esto facilita la toma de decisiones para recomendar los mejores genotipos más productivos y estables en determinados ambientes, con el fin de incrementar la producción de trigo en la región. En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar la IGA del rendimiento de grano de 50 genotipos de trigo cristalino en tres ambientes localizados en los estados de Nuevo León y Coahuila.

Materiales y métodos

Los ambientes de evaluación se definieron por la combinación particular de localidad y ciclo agrícola: 1) Navidad, N.L., ciclo primavera-verano 2023 (SNAVIPV); 2) Navidad, N.L., ciclo otoño-invierno 2023-2024 (SNAVIOI), y 3) Concordia, Coah., ciclo otoño-invierno 2024-2025 (SCONCOR). Se evaluaron 50 genotipos de trigos cristalinos proporcionados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), utilizando como testigo la variedad CIRNO C2008. Los experimentos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La preparación del suelo incluyó un paso de arado y dos de rastra, seguido del trazado de surcos. Cada unidad experimental estuvo conformada por cinco hileras de 3 m de longitud, separadas a 0.30 m (4.5 m^2). La dosis total de fertilización aplicada en el cultivo fue de 230-90-30 (N-P-K).

Los riegos fueron realizados cada 15 días, desde la siembra hasta la etapa de llenado de grano, mediante aspersión en los ambientes de Navidad y riego superficial para la Concordia. El control de malezas se llevó a cabo durante la etapa de amacollamiento con 2,4D-Amina® (1.5 L ha^{-1}). Para los muestreos se cortaron plantas de dos hileras centrales de cada parcela y se trillaron con una trilladora estacionaria; el grano obtenido se pesó y con ello se estimó el rendimiento en t ha^{-1}. Con los datos de rendimiento de grano se realizaron análisis de AMMI utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

La IGA mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el rendimiento de grano; lo anterior nos indica que cada genotipo tiene un comportamiento distinto entre los ambientes evaluados (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Rodríguez et al. (2011), quienes documentaron diferencias en la IGA al evaluar tres genotipos de trigos bajo cuatro ambientes en el valle de Mexicali, B.C., México. En cuanto a los genotipos, se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); al respecto, el genotipo más productivo fue 748, seguido por 749, 706 y 705, con rendimientos de grano superiores a 2.0 t ha^{-1}. Además, estos cuatro materiales fueron superiores al testigo CIRNO C2008, que presentó 1.02 t ha^{-1} (datos no mostrados). Así mismo, estos genotipos mostraron rendimientos similares al promedio reportado en los estados de evaluación con valores de 2.05 a 3.39 t ha^{-1} (SIAP, 2025).

El análisis AMMI explicó el 100 % de la IGA para el rendimiento de grano con los dos primeros componentes y ambos presentaron alta significancia (Cuadro 1). Esto indica que el modelo explicó el total de la variación presente en la IGA. Así mismo, resultó ser complejo, debido a los diferentes niveles de tolerancia que mostraron los genotipos en los ambientes con amplias variaciones en temperaturas, fertilidad de los suelos, calidad del agua de riego y altitudes.

Cuadro 1. *Análisis de varianza AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) para el rendimiento de grano de 50 genotipos de trigo cristalino evaluados en tres ambientes.*

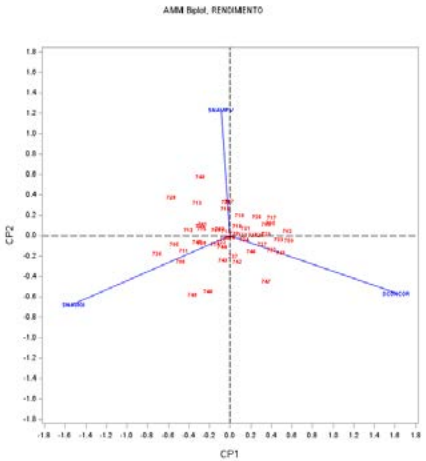
FV	**GL**	**Rendimiento en t ha^{-1}**
Ambiente (AMB)	2	43.03**
Repetición (REP)	2	4.04**
REP/AMB	4	1.73**
Genotipo (GEN)	49	1.34**
IGA	98	0.90**
CP1	50	9.93**
CP2	48	2.23**
%CP1	50	82.25
%CP2	48	17.75

FV	**GL**	**Rendimiento en t ha^{-1}**
E.E.	294	0.15
Media		1.44
C.V		26.69

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; REP/AMB= repeticiones dentro de ambientes; IGA= interacción genotipo ambiente; CP1 y CP2= componentes principales 1 y 2; %CP1 y %CP2= porcentaje de varianza explicada por los componentes principales 1 y 2, respectivamente; E.E= error experimental; C.V= coeficiente de variación.

La Figura 1 muestra la distribución de los genotipos respecto a los ejes principales. Los genotipos 704, 730, 719, 725, 703, 709, 722, 723 y 724 se ubicaron más cerca del origen, es decir, presentaron mayor estabilidad en los tres ambientes con rendimientos de 1.27 a 1.44 t ha-1, lo cual supera al testigo CIRNO C2008 (1.02 t ha-1). Por otro lado, los genotipos con menor estabilidad fueron 717, 726, 702, 735, 708, 729, 723 y 720; todos estos materiales se encuentran alejados del origen. Los genotipos 740, 728, 736, 749, 748, 747 mostraron baja estabilidad general, aunque presentaron una adaptación específica: los genotipos 740 y 728 al ambiente 1, 736, 749 y 748 al ambiente 2 y el 747 al ambiente 3; por lo tanto, cada material podría expresar un mayor potencial de rendimiento bajo condiciones ambientales particulares.

Figura 1. *Interacción genotipo ambiente (IGA) para el rendimiento de grano en los genotipos y ambientes evaluados.*



Conclusiones

En este estudio se presentó IGA para el rendimiento de grano en trigos duros. El análisis AMMI mostró que nueve genotipos presentaron estabilidad en los tres ambientes evaluados; además, el rendimiento de grano de estos materiales fue superior al testigo. Por otro lado, con el análisis AMMI también se identificaron seis genotipos con adaptación específica a determinados ambientes, los cuales mostraron rendimientos superiores al testigo. Por lo tanto, existen genotipos que se pueden aprovechar para la producción de grano en ambientes y ciclos específicos. Los resultados encontrados confirman que existen genotipos con potencial productivo para ser recomendados a los productores en la región de estudio.

Referencias

CANIMOLT, Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. (2017). *Reporte estadístico 2017* [Informe] CANIMOLT. https://www.canimolt.org/compendio-estadistico-completo

Hernández Ochoa, I. M., Asseng, S., Kassie, T., Xiong, W., Robertson, R.,

Luz Pequeño, D. N., Sonder, K., y Hoogenboom, G. (2018). *Climate change impact on Mexico wheat production*. Agricultural and Forest Meteorology, 263, 373–387. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.09.008

Perea, E. (2025). *Producción de trigo en México caerá 25 % en el ciclo 2024/25: FIRA*. Imagen Agropecuaria. https://imagenagropecuaria.com/2025/produccion-de-trigo-en-mexico-caera-25-en-el-ciclo-2024-25/

Rodríguez-González, Rosario E., Ponce-Medina, Juan F., Rueda-Puente, Edgar O., Avendaño-Reyes, Leonel, Paz Hernández, Juan J., Santillano-Cazares, Jesús, y Cruz-Villegas, Manuel. (2011). *Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México*. Tropical and subtropical agroecosystems, 14(2), 543-558. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S1870-04622011000200015ylng=esytlng=es.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Producción de trigo en México: estadísticas y tendencias* [Informe]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección General de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/953038/Trigo_Cristalino_Sep_2024.pdf

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Producción de trigo en México: estadísticas y tendencias* [Informe]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección General de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

IV

Agricultura de precisión

Capítulo **29**

Acolchado del suelo en la detección multitemporal automatizada de plantas de repollo (*Brassica oleracea* Var. *Capitata* L.) mediante fotografías aéreas

Samaniego Gamez Samuel U.[59]
Yáñez Juárez Moisés G.[60]
Núñez Ramírez Fidel[61]
Payán Arzapalo María A.[60]
Valle Gough Raúl E.[61]
Samaniego Gamez Blancka Y.[61]

[59] Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Campus Culiacán. Correo electrónico: samaniegos@uabc.edu.mx.
[60] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Campus Culiacán.
[61] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas.

Resumen

El repollo es una hortaliza ampliamente consumida por sus beneficios a la salud. Por ello, se utilizan tecnologías para supervisar su producción, destacando el monitoreo remoto mediante sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS). La detección automatizada de plantas cultivadas se emplea en agricultura de precisión para monitorear germinación, supervivencia y desarrollo de cultivos. No obstante, su confiabilidad puede verse afectada por el color de acolchado del suelo y cobertura foliar del cultivo. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto del acolchado del suelo en la detección multitemporal automatizada de plantas de repollo mediante fotografías aéreas. Se evaluaron cinco tratamientos: acolchado plástico gris, transparente, blanco, negro y suelo desnudo, bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. La detección de plantas se realizó sobre ortomosaicos generados a partir de imágenes capturadas con un RPAS Phantom 4 multiespectral, a las dos, tres, cinco y siete semanas después del trasplante, utilizando una plataforma de inteligencia artificial agrícola. La precisión de la estimación fue evaluada mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Los resultados mostraron mayor confiabilidad durante las semanas cinco y siete en el acolchado de plástico gris (RMSE = 0.50), mientras que la menor precisión se observó en la segunda semana con acolchado plástico transparente (RMSE = 13.83). Se concluye que tanto la cobertura foliar como el color del acolchado del suelo influyen en la eficacia de la detección automatizada de plantas de repollo a partir de imágenes aéreas.

Introducción

El repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata) es una hortaliza de la familia de las crucíferas; es cultivada y consumida en gran parte del mundo, es incluida en los planes alimenticios como fuente de fibra y nutrientes, así como por

sus potenciales efectos glandulares positivos (Galanty et al., 2024). Debido a ello, es necesario utilizar tecnologías para su monitoreo, dentro de las que destaca el monitoreo remoto por medio de sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS). La detección automatizada de plantas cultivadas en sistemas agrícolas se ha convertido en una herramienta utilizada en agricultura de precisión, y su uso se ha centrado principalmente en realizar el monitoreo de la germinación, la supervivencia al trasplante y el desarrollo de los cultivos (Toscano et al., 2024; Sangeetha et al., 2024).

No obstante, la confiabilidad de esta detección puede verse comprometida por diversos factores del entorno agrícola, como la presencia de malezas, el color del plástico utilizado como acolchado, así como la sobreposición de la cobertura foliar del cultivo (Maurya et al., 2024; Chin et al., 2023). Debido a la necesidad de conocer la eficacia de estas herramientas en diferentes condiciones, el objetivo del presente estudio fue conocer el efecto del acolchado del suelo en la detección multitemporal automatizada de plantas de repollo mediante fotografías aéreas.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), ubicado en las coordenadas 32.405105° de latitud norte y -115.200136° de longitud oeste. La plantación cultivada y analizada fue repollo. Se evaluó la detección de plantas en cuatro tipos de acolchados plásticos: gris, transparente, blanco, negro y suelo desnudo (sin acolchado plástico) en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro réplicas, resultando en 20 unidades experimentales o camas de cultivo, con superficie de 21 m² (con camas de cultivo orientadas de norte a sur, con 6.0 m de longitud, 3.5 m de separación y 0.2 m de altura). Las plantas fueron trasplantadas en sistema triangular tresbolillo, con 0.4 m de separación entre plantas y 0.5 m entre hileras (Escobosa et al., 2022).

Las plantas fueron contabilizadas de forma exhaustiva, marcando cada una de forma manual en el ortomosaico de referencia utilizando el software QGIS v 3.22.10 (QGIS, 2023). Esto mediante un vector de punto perteneciente a un archivo tipo shape. Así mismo, se realizaron cuatro misiones de

vuelo para obtener ortomosaicos de la plantación en fechas diferenciadas a las dos, tres, cinco y siete semanas después del trasplante. Para ello se utilizó un RPAS Phantom 4 multiespectral (© DJI, 2019). El procesamiento de las imágenes aéreas para obtener los ortomosaicos se realizó con el software bajo licencia académica PIX4DFields (Pix4D, 2024). Los ortomosaicos generados tuvieron una distancia de muestreo terrestre (GSD, por sus siglas en inglés) de 0.04 m y fueron corregidos geográficamente con siete puntos de control terrestre de alta precisión (GPS-RTK) (SOUTH, 2024). Posteriormente, los ortomosaicos fueron procesados en la plataforma de inteligencia artificial agrícola Agremo (© Agremo, 2024). En la que se detectó de forma automática la cantidad de plantas de cada ortomosaico. Finalmente, la cantidad estimada de plantas detectadas en cada misión fue contrastada con el conteo manual exhaustivo de referencia. Esto mediante el indicador de calidad de estimación Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE, por sus siglas en inglés) (García et al., 2020; Kitano et al., 2019). El RMSE determina la confiabilidad de un modelo predictivo, donde valores menores o cercanos a cero indican alta confiabilidad y valores superiores indican baja confiabilidad (Heddam et al., 2022).

Resultados y discusión

La mayor confiabilidad para la detección de plantas se obtuvo en las misiones de vuelo realizadas en la quinta y séptima semana, en acolchado de plástico gris con un RMSE de 0.50 plantas. De acuerdo con García et al. (2020), al aumentar la cobertura foliar, mejora la precisión en la detección de plantas debido a que tienen mayor superficie de exposición. Sin embargo, al continuar aumentando la cobertura foliar y existir superposición entre plantas, aumenta el RMSE, situación que se muestra en el Cuadro 1. Los mayores valores de RMSE se obtuvieron en la primera misión, para el acolchado transparente con un RMSE de 13.83 plantas. De acuerdo con Lee et al. (2023), la detección individual de plantas en etapas tempranas se ve afectada por la escasa cobertura foliar. Aunado a malezas que se desarrollaron en la parte interna del acolchado, las cuales, de acuerdo con Yuan et al. (2024), afectan la detección.

Cuadro 1. *Error cuadrático medio (RMSE) en la detección automatizada de plantas de repollo*

	RMSE			
Tratamiento	**Semana 2**	**Semana 3**	**Semana 5**	**Semana 7**
Suelo desnudo	5.70	3.00	0.71	1.50
Plástico gris	12.40	4.52	0.50	0.50
Plástico transparente	13.83	3.40	1.50	1.50
Plástico blanco	10.27	6.71	1.22	1.66
Plástico negro	11.77	1.11	1.12	0.50

Conclusiones

La ventana de oportunidad temporal para la identificación confiable de plantas de repollo se presenta a la quinta semana después del trasplante en la cobertura de plástico gris, donde es la cobertura de plástico transparente la que muestra los mayores niveles de error en la estimación. Se concluye que tanto el momento como el color de cobertura del suelo influyen en la confiabilidad de la detección de plantas automatizada a partir de fotografías aéreas.

Referencias

Agremo. (2024). A*gremo Analyses - Plant Count y Health Monitoring*. https://www.agremo.com/documentation/agremo-analyses/

Chin, R., Catal, C., y Kassahun, A. (2023). P*lant disease detection using drones in precision agriculture*. In Precision Agriculture. Springer, 24,1663-1682 https://doi.org/10.1007/s11119-023-10014-y

DJI. (2019). *P4 Multispectral*. https://www.dji.com/mx/p4-multispectral

Escobosa, I., Vázquez, M., Samaniego, B., Valle, R., Vázquez, J., y Núñez, F. (2022). E*fecto del acolchado en repollo cultivado en el Valle de Mexicali*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 28, 197-206. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3275

Galanty, A., Grudzińska, M., Paździora, W., Służały, P., y Paśko, P. (2024). *Do Brassica Vegetables Affect Thyroid Function?* A Comprehensive Systematic Review. International Journal of Molecular Sciences, 25(7). https://doi.org/10.3390/ijms25073988

García, H., Flores, H., Khalil, A., Ascencio, R., Tijerina, L., Vázquez, M., y Mancilla, O. (2020). *Estimación de la fracción de cobertura de la vegetación en maíz (Zea mays) mediante imágenes digitales tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV)*. Revista Fitotecnia Mexicana, 43(4), 399-409. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.399

Heddam, S., Kim, S., Elbeltagi, A., y Kisi, O. (2022). *Random vector functional link network based on variational mode decomposition for predicting river water turbidity*. 7, 245–264. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91910-4.00015-7

Kitano, B. T., Mendes, C., Geus, A. R., Oliveira, H. C., y Souza, J. R. (2019). *Corn Plant Counting Using Deep Learning and UAV Images*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 1-5. https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2930549

Lee, C. J., Yang, M. Der, Tseng, H. H., Hsu, Y. C., Sung, Y., y Chen, W. L. (2023). *Single-plant broccoli growth monitoring using deep learning with UAV imagery*. Computers and Electronics in Agriculture, 207. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107739

Maurya, D. K., Maurya, S. K., Kumar, M., Chaubey, C., Gupta, D., Patel, K. K., Mehta, A. K., y Yadav, R. (2024). *A Review on Precision Agriculture: An Evolution and Prospect for the Future*. International Journal of Plant y Soil Science, 36(5), 363-374. https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i54534

Pix4D. (2024). *PIX4Dfields*. https://www.pix4d.com/es/producto/pix4d-fields/

Qgis. (2023). *QGIS*. https://download.qgis.org/downloads/

Sangeetha, C., Moond, V., Rajesh G. M., Damor, J. S., Pandey, S. K., Kumar, P., y Singh, B. (2024). Remote Sensing and Geographic Information Systems for Precision Agriculture: A Review. International Journal of Environment and Climate Change, 14(2), 287–309. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i23945

SOUTH. (2024). *Galaxy G7*. Guangzhou SOUTH Surveying y Mapping Technology Co., Ltd. https://www.southinstrument.com/product/details/pro_tid/3/id/210.html

Toscano, F., Fiorentino, C., Capece, N., Erra, U., Travascia, D., Scopa, A., Drosos, M., y D'Antonio, P. (2024). *Unmanned Aerial Vehicle for Preci-*

sion Agriculture: A Review. IEEE Access, 12, 69188-69205. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3401018

Yuan, J., Li, X., Zhou, M., Zheng, H., Liu, Z., Liu, Y., Wen, M., Cheng, T., Cao, W., Zhu, Y., y Yao, X. (2024). *Rapidly count crop seedling emergence based on waveform Method (WM) using drone imagery at the early stage*. Computers and Electronics in Agriculture. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108867

Capítulo **30**

Monitoreo de la humedad del suelo con sensores en trigo comercial con tres riegos de auxilio en riego por gravedad

Ortiz Enríquez José Eliseo[62]
Félix Fuentes José Luis[62]
Félix Valencia Pedro[62]
Padilla Valenzuela Isidoro[62]
Barrales Gamez Benjamín[62]
Márquez Cervantes Jesús Arnulfo[62]

[62] CENEB-CIRNO-INIFAP1: ortiz.eliseo@inifap.gob.mx.

Resumen

En el Valle del Yaqui, Sonora, la irrigación se lleva a cabo con agua de presas en un 82 % y pozos en un 18 %; en el ciclo OI 2024-25 se dejó de sembrar el 80 % de la superficie por falta de agua. Al 8 de agosto de 2025, las presas están al 16.8 % de su capacidad, es decir, el panorama es incierto. En los 80 y 90, en trigo se aplicaban cinco riegos de auxilio y actualmente solo tres. Este estudio se realizó en el 2023-24 en tres parcelas con trigo variedad Cirno C2008, ubicadas en el Block 405. Se instalaron sensores marca Watermark a tres profundidades del suelo: A 25, 50 y 75 cm, se mide la tensión de la humedad del suelo en centibares (Cb). El objetivo fue obtener las lecturas de los sensores regando con tres riegos de auxilio. Resultados: En la parcela 1, el primer riego de auxilio se aplicó cuando las humedades estuvieron a 104, 71 y 62 Cb para las profundidades de 25, 50 y 75 cm, respectivamente; el rendimiento fue de 8.2 Ton/ha. En la parcela 2, el primer riego se aplicó a los 150, 86 y 56 Cb con un rendimiento de 9.1 ton/ha. En la parcela 3, el primer riego se aplicó a los 68, 16 y 11 Cb con 9.0 ton/ha.

Introducción

La captación de agua en el sistema de presas varía año con año según la magnitud de las precipitaciones en la cuenca hidrológica del río Yaqui, donde las lluvias que más aportan a las presas son las del verano. El comportamiento de los niveles alcanzados determina de manera importante la cantidad de hectáreas a sembrarse. En el valle del Yaqui, en el ciclo otoño-invierno (OI), la irrigación se lleva a cabo con agua de un sistema de presas en un 82 % y se complementa con agua de pozo en un 18 %. En la agricultura, para el ciclo de verano, se cumplen 32 años que no se irriga con agua de la presa por sus escasos almacenamientos y se hace uso del agua del acuífero utilizando pozos profundos.

En el ciclo OI pasado 2024-25 no se sembró ninguna hectárea con agua de las presas y solamente se sembraron 45 000 ha con agua de pozos, es decir, se dejó de sembrar el 80 % de la superficie total, y en verano de 2025 solamente están los frutales y cerca de 6000 ha de ajonjolí regado con pozo. Al 8 de agosto de 2025, el sistema de presas está con un almacenamiento de 1178 MM3, que representa el 16,8 % de su capacidad y solamente 91 MM3 más que al 8 de agosto de 2024; es decir, el panorama para el próximo ciclo 2025-26 es incierto en cuanto a superficie de siembra se refiere. En relación al trigo, es el cultivo que mayor superficie cubre, el 70 % de la superficie total, aunque no necesariamente es el más rentable. Anteriormente, en los años 80 y 90, se aplicaban cinco riegos de auxilio y, precisamente por lo errático de las lluvias, fue necesario bajar la cantidad de agua aplicada. Actualmente, solamente se aplican tres riegos de auxilio, conforme a lo recomendado por Ortiz et al. (2003). El objetivo de este trabajo fue obtener las lecturas de los sensores medidos en centibares (Cb) regando el trigo con los tres riegos de auxilio de acuerdo a la propuesta de Ortiz et al. (2003), en parcelas comerciales de trigo en el ciclo OI 2023-24 y regado con el sistema de riego por gravedad, rodado o tradicional.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en el ciclo OI 2023-24 en tres parcelas agrícolas comerciales sembradas con trigo con la variedad Cirno (C2008), estas se ubicaron en el Block 405 en la región del Valle del Yaqui, Sonora. Cada parcela fue de 100 ha, las actividades culturales fueron: tres rastreos, fertilización antes del riego de presiembra, antes de la siembra y al primer riego de auxilio para completar una dosis total de 300-150-00 de N-P-K. La siembra se realizó en la primera quincena de diciembre de 2023 para las tres parcelas y en húmedo con una densidad de 180 kg/ha de semilla. Los surcos fueron trazados a 80 cm de separación y se sembraron tres hileras en la corona o lomo del surco y una hilera en el fondo del surco. Dentro de cada parcela se instalaron sensores marca Watermark® a tres profundidades del suelo: 25, 50 y 75 cm para determinar la humedad del suelo. Los riegos se aplicaron siguiendo la metodología de Ortiz et al., 2003, la cual consiste en aplicar los tres riegos de auxilio en todo el ciclo biológico del

trigo con base en las etapas fenológicas y días, en lugar de cuatro o cinco riegos de auxilio que se aplicaban en el pasado, y se fue dando seguimiento a la dinámica de la humedad del suelo registrada con los sensores Watermark en todo el ciclo del trigo (ver gráficas del comportamiento de la humedad del suelo). La cosecha fue mecánica con cosechadora comercial y se obtuvieron los datos de las boletas comerciales.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la humedad del suelo con base en las medidas de centibares (Cb) para la parcela 1. Shock et al. (2013) opinan que la interpretación de las lecturas de los sensores Watermark es la siguiente: De 20 a 60 Cb son las lecturas ideales para iniciar el riego y va a depender del tipo de suelo, clima, cultivo y el tipo de sistema de riego, así como lecturas de 10 a 20 Cb, indican que está muy cerca de la capacidad de campo; de 0 a 10 Cb se encuentra el suelo saturado, lo cual también coincide con Enciso et al. (2007). En la figura 1, el primer riego de auxilio se aplicó cuando las humedades estuvieron a 104, 71 y 62 Cb para las profundidades de 25, 50 y 75 cm, con humedad baja en los primeros 50 cm. Sin embargo, de acuerdo con Ortiz et al. (2003), para poder ahorrar agua y obtener el trigo con tres riegos de auxilio, es necesario castigar a la planta en la etapa vegetativa que coincide con encañe y alrededor de los 50 días después de la siembra. El segundo riego de auxilio se aplicó a los 80 días después de la siembra en la etapa de espigamiento, donde las lecturas fueron de 122-34 y 41 Cb, una lectura castigada a los 25 cm, pero muy buena humedad en los 50 y 75 cm de profundidad. El tercer riego se aplicó en la etapa de grano acuoso, con lecturas de 50-25 y 20 Cb y con humedades excelentes. En el Cuadro 1 se muestran los resultados de esta parcela con un rendimiento de 8.2 ton/ha, panza blanca del 8 % y peso hectolitro de 81.

En la Figura 2 y parcela 2, el primer riego de auxilio se aplicó cuando las humedades estuvieron a 150, 86 y 56 Cb para las profundidades de 25, 50 y 75 cm en la fecha del 14 de enero de 2024, humedad baja en los primeros 50 cm, pero de acuerdo con Shock et al. (2013), opinan que de 20 a 60 Cb son las lecturas ideales para iniciar el riego. El segundo riego de auxilio se aplicó en la etapa de espigamiento-floración y las lecturas fueron de 77, 46

y 15 Cb, lectura castigada solo a los 25 cm, pero muy buena humedad en los 50 y 75 cm. El tercer riego se aplicó en la etapa de grano acuoso con lecturas de 57-22 y 0 Cb, humedades excelentes. En el Cuadro 1 se muestran los resultados de esta parcela con un rendimiento de 9.12 ton/ha, rendimiento muy alto, con panza blanca del 6 %, peso hectolitrito de 81,2 y 90,7 % de granos vítreos. El recuento de granos vítreos permite caracterizar la calidad del grano mediante la observación de sus propiedades ópticas. El grano vítreo duro es un signo visible de la dureza del grano, y su especificación se utiliza internacionalmente como método principal para clasificar el trigo duro (Shahin y Symons, 2007). En la Figura 3 y parcela 3, el primer riego de auxilio se aplicó cuando las humedades estuvieron a 57, 18 y 9 Cb para las profundidades de 25, 50 y 75 cm, humedad excelente en los tres estratos. De acuerdo con Shock et al. (2013), opinan que de 20 a 60 Cb son las lecturas ideales para iniciar el riego. El segundo riego de auxilio se aplicó en la etapa de espigamiento-floración y las lecturas fueron de 56, 32 y 4 Cb, excelentes lecturas. El tercer riego se aplicó en la etapa de grano acuoso con lecturas de 25-12 y 0 Cb, humedades excelentes. En el Cuadro 1 se muestran los resultados, con un rendimiento de 9.12 ton/ha, rendimiento muy alto, con panza blanca del 6 %, peso hectolitrito de 81,2 y 90,7 % de granos vítreos.

Figura 1. *Monitoreo de la humedad del suelo en base a sensores. Ciclo 2023-24. Parcela 1.*

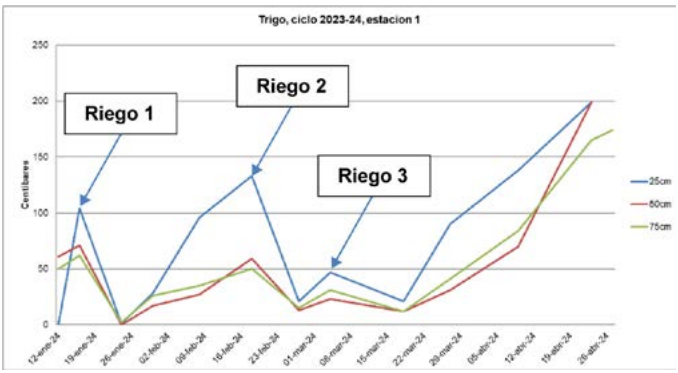


Figura 2. *Monitoreo de la humedad del suelo en base a sensores. Ciclo 2023-24. Parcela 2.*

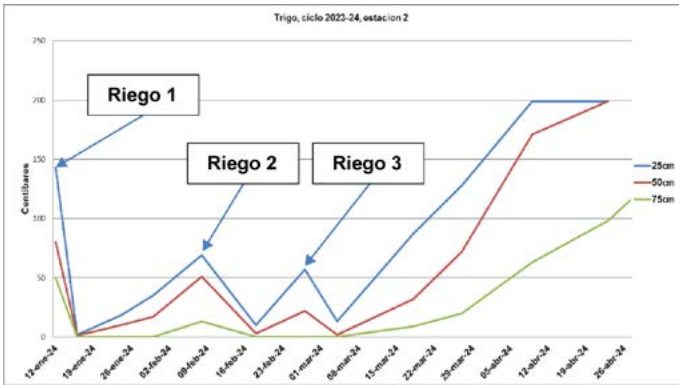
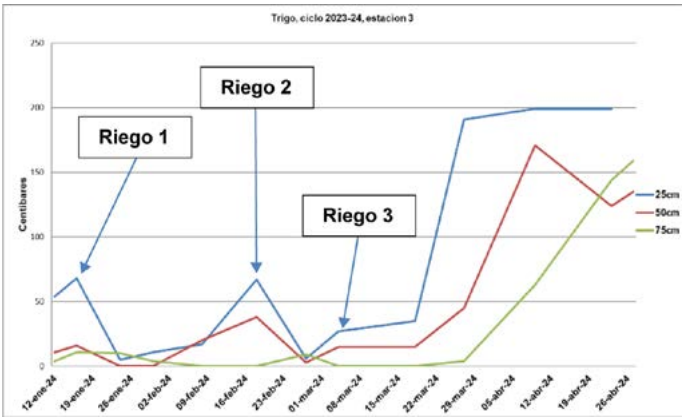


Figura 3. *Monitoreo de la humedad del suelo en base a sensores. Ciclo 2023-24. Parcela 3.*



Cuadro 1. *Rendimiento de grano y variables en trigo. Ciclo O-I 2023-24. CENEB-CIRNO-INIFAP.*

Variables Estación 1	**Variables: Estación 2**	**Variables: Estación 3**
Humedad a cosecha: 8,2 %	Humedad a cosecha: 10,0 %	Humedad a cosecha: 8,6 %
Impurezas: 1,8 %	Impurezas: 1,8 %	Impurezas: 1,5 %
Grano dañado: 1,0 %	Grano dañado: 1,0 %	Grano dañado: 1,0 %
Peso hectolitrito: 81.0	Peso hectolitrito: 81.2	Peso hectolitrito: 82.5
Panza blanca: 8,0 %	Panza blanca: 6,0 %	Panza blanca: 3,2 %
Punta negra: 1,5 %	Punta negra: 1,2 %	Punta negra: 1,1 %
Granos vítreos: 88,2 %	Granos vítreos: 90,7 %	Granos vítreos: 93,7 %
Rendimiento Ton/ha: 8.2	Rendimiento Ton/ha: 9.1	Rendimiento Ton/ha: 9.0

Conclusiones

El monitoreo de la humedad del suelo con sensores marca Watermark a través del ciclo del trigo para determinar la aplicación de los riegos de auxilio en parcela es una buena herramienta.

Referencias

Enciso-M. J., Porter, D. y Péries X. (2007). *Irrigation monitoring with soil water sensors. Texas cooperative extension*. The Texas A and M University System. USA.

Ortiz-Enríquez J.E., Cortés-Jiménez J.M., Félix-Valencia P. (2003). *Manejo de riegos para los principales cultivos del sur de Sonora*. Folleto Técnico Núm 51. INIFAP-CIRNO-SAGARPA.

Shock, C. C., Wang F.X., Flock, R., Feibert, E., Schok, C.A. y Pereir, A. (2013) *Irrigation Monitoring Using Soil Water Tension*. EM 890. Oregon State University. Extension Service.

Shahin, M. A. y Symons, S. J. (2007). *Detection of hard vitreous and starchy kernels in amber durum wheat samples using hyperspectral imaging* (GRL Number M306). NIR News. 5(19), 16-18.

Capítulo **31**

Calidad de composta de gallinaza y su efecto en la fertilidad del suelo y rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Valenzuela Uribe Martha Romina[1]
Herrera Rodríguez Gabriel[2]
Ruelas Islas Jesús del Rosario[63]
Fuentes Verduzco Cipriano[63]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[63]
López Valenzuela Blanca Elvira[63*]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Av. Japaraqui y Calle 16. Juan José Ríos, Sinaloa. México. C.P. 81110 .*E. mail: blancavzla@uas.edu.mx.
[2] Unidad Tecnológica Fitosanitaria Integral/Junta Local de Sanidad Vegetal del Valle del Fuerte. Carretera Los Mochis – Ahome, Km. 1.5, Ejido Mochis, Sinaloa, México. C.P. 81233.

Resumen

Los desechos agroindustriales impactan negativamente al ambiente, por lo que es necesario el reciclaje de los residuos orgánicos como la gallinaza, a fin de otorgarles un valor agregado en la agricultura. La composta de gallinaza aporta nutrientes, microorganismos y materia orgánica al suelo. En el presente estudio se produjeron 55.7 toneladas de composta con la mezcla de agua, paja (carbono) y gallinaza (nitrógeno), clasificada como composta/mejorador de suelo orgánico según la NMX-AA-180-SCFI-2018. Se evaluó en papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad FL-1867, bajo un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y tres dosis (2, 5 y 10 t ha^{-1}) más un control sin aplicación. A los 105 días después de siembra se evaluó el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo, biomasa aérea y rendimiento de tubérculos. El tratamiento T4 (10 t ha^{-1}) registró el mayor rendimiento y altura de planta; sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para biomasa aérea ni el porcentaje de humedad gravimétrica en suelo.

Introducción

La revolución verde, iniciada a mediados del siglo XX, buscó aumentar la producción agrícola mediante fertilizantes químicos, pesticidas e introducción de maquinaria, lo que derivó en degradación y déficit nutritivo de los suelos. Para mitigar estos efectos, se promueven prácticas como el compostaje de estiércol rico en nitrógeno, fósforo, calcio y elementos orgánicos, capaz de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Peñaloza et al., 2019; Casas y Guerra, 2020).

Evaluar el efecto de este abono facilita la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la reducción de fertilizantes sintéticos. Este estudio tuvo como objetivo producir composta de gallinaza, evaluar su calidad y efecto en la fertilidad del suelo y rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

Materiales y métodos

Se preparó un cantero con magnitudes de 1.2m de alto, 2.5m de ancho y 55m de largo, con 52.5 t de gallinaza y 6 t de paja, ajustado a una relación C/N inicial de 22:1. Durante 70 días se realizaron volteos y riegos controlados con compostadora mecánica, según la temperatura (>65°C). Se monitoreo diariamente la temperatura ambiental y temperatura del cantero. Al finalizar, se tomaron muestras representativas de la composta para su caracterización física y caracterización química. Los resultados obtenidos se compararon con lo establecidos en la norma NMXAA-180-SCFI-2018.

Una semana después (22 de noviembre de 2025) se estableció un diseño experimental con bloques al azar con 16 unidades experimentales (UE) de 18m^2 en un área de estudio de 355.3 m^2 con suelo de textura arcillosa, ligeramente ácido (pH 6.5), con 1.19 % de materia orgánica. Se aplicaron cuatro tratamientos (2 t ha^{-1}, 5 t ha^{-1}, 10 t ha^{-1}) y un testigo sin composta, con cuatro repeticiones en complemento a fertilización química (150 kg/ha de Urea, 260kg/ha de 11-52-0 MAP, 230 kg/ha de sulfato de potasio y 100 kg/ha de KMag) dentro de un cultivo de papa establecido a campo abierto. Se evaluaron la altura y peso seco de10 plantas por UE a los 105 DDS, el rendimiento de tubérculos en 0.90m^2 (tres repeticiones) por UE y la humedad del suelo se evaluó mediante el método gravimétrico (cinco repeticiones por UE).

Resultados y discusión

Figura 1. *Tendencia del comportamiento de las temperaturas diarias del cantero, por un periodo de 70 días.*

El registro del comportamiento de las temperaturas (Figura 1) muestra cómo los valores se comportaron dentro del rango de las fases mesófila (20-35 ºC), termófila (35-65.9 ºC), enfriamiento y maduración (35-25.9 ºC). Se dio la fluctuación de calor necesaria para esterilizar composta de microorganismos patógenos (Cuadro 1) debido a que la composta alcanzó los 67°C como máximo (Méndez, 2022) y garantizar la permanencia de bacterias termófilas benéficas.

Cuadro 1. *Parámetros de calidad evaluados en la composta y comparados con respecto a la norma la NMXAA-180-SCFI-2018.*

Parámetro	**Valor ideal**	**Valor obtenido**
pH	6.7 – 8.5	7.11
Materia orgánica	≥ 20 % MS	80,35 % MS
Nitrógeno total (N)	1 % – 3 % MS	1,49 %
Parámetro	**Valor ideal**	**Valor obtenido**
Fosforo total (P)	//	1,94 %
Potasio total (k)	//	2,08 %
Temperatura	25 °C – 50 °C	27ºC
Índice de germinación	G≥ 80 %	93,33 %
Bacterias aeróbicas	PRESENCIA	21,000000
Coliformes fecales	<1000 NMP/g (base seca)	2.44/NO DETECTADO NMP/g

El proceso de compostaje resultó en la producción total de 55.7 toneladas de composta. Se evaluó la clasificación del producto de acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018, nombrándolo COMPOSTA/MEJORADOR DE SUELO ORGÁNICO. Debido a que la suma de los macronutrientes primarios (N-P-K) fue de 5,5 %, la norma indica que, si la suma de estos nutrientes es menor al 7 %, se le otorga dicha leyenda (SEMARNAT, 2018).

Cuadro 2. *Valores medios correspondientes a las variables de biomasa y rendimiento registradas en los tratamientos.*

Tratamientos	Humedad gravimetrica (%)	Altura de planta (cm)	Peso seco de planta (g)	Rendimiento (t ha^{-1})
T1 (Control)	24.575 a	70.90 b	19.914 a	27.298 b
T2 (Dosis Baja)	14.320 a	70.95 ab	19.406 a	32.373 ab
T3 (Dosis Media)	15.83 a	71.95 ab	19.160 a	30.40 ab
T4 (Dosis Alta)	15.643 a	78.00 a	24.068 a	34.878 a
DMS (p= 0.05)	9.72	8.63	6.715	8.56

El porcentaje de humedad gravimétrica en el suelo no se vio afectado por ninguno de los tratamientos, similar a lo mencionado por Romi et al. (2024), donde se concluye que la textura del suelo puede ser un factor limitante para la retención de humedad y, por lo tanto, la composta no influye a corto plazo en mejorar la estructura del suelo. La relación carbono-nitrógeno alta en la composta indica que la materia orgánica no se desintegró por completo y, por ende, disminuyó la formación de coloides y humus que retienen la humedad en el suelo (Agyarko et al., 2017). Las compostas inmaduras pueden retrasar el proceso de humificación en el suelo y no modificar la disposición de las partículas hasta que la composta termine de estabilizarse en el suelo (Bernal, 2009). Además, pueden someter a la planta a competir contra los microorganismos por la inmovilización de nitrógeno y no tener un impacto en el aumento de biomasa de la planta (Liu et al., 2016).

La aplicación de composta de gallinaza en complemento a la fertilización no mostró diferencias significativas entre las dosis y el testigo en el peso seco de la planta; sin embargo, el T4 (10 t ha^{-1}) incrementó la altura de las plantas (78 cm) debido al aporte de nutrientes que, en sinergia con el fertilizante químico, aumentan los nutrientes disponibles para su desarrollo, lo que concuerda con lo reportado por Luna et al. (2016), donde observaron cómo las dosis altas de abonos orgánicos inducen el aumento en la altura de la planta. Esto se debe a que los abonos orgánicos ayudan a la planta a absorber nutrientes, lo cual favorece el desarrollo vegetativo (Lentz y Sojka, 2018). Aplicar composta de gallinaza en la dosis de 10 t/ha^{-1} aumenta el rendimiento de tubérculos de papa (Cuadro 2). Según Peñaloza et al. (2019), esto se debe al aumento de la actividad biológica y

el aporte de nutrientes que provienen de la gallinaza, específicamente el nitrógeno, que se mantiene en el suelo y tiende a absorberse lentamente por la planta.

Conclusiones

La composta de gallinaza evaluada conforme a la norma NMXAA-180-SCFI-2018 se clasificó como COMPOSTA/MEJORADOR DE SUELO ORGÁNICO. La dosis de 10 t ha^{-1} de composta incrementa la altura de la planta de papa y el rendimiento de los tubérculos. No hay diferencia significativa entre las dosis de composta evaluadas en relación al porcentaje de humedad gravimétrica del suelo y el peso seco de la planta. El uso de abonos orgánicos es una alternativa sustentable para aumentar los rendimientos en el cultivo de papa.

Referencias

Agyarko-Mintah, E., Cowie, A., Singh, B. P., Joseph, S., Van Zwieten, L., Cowie, A., Harden, S., y Smillie, R. (2017). *Biochar increases nitrogen retention and lowers greenhouse gas emissions when added to composting poultry litter*. Waste Management, 61, 138-149. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.027

Bernal, M. P., y Moral, R. Alburquerque, J. A., (2009). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment.* A review. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453.
https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Casas-Rodríguez, S., Guerra- Casas, L., (2020). *La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización.* Producción animal. 32(3), 87-102. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-79202020000300087yscript=sci_arttext#B28

Lentz, R. D., y Sojka, R. E., (2018). *Dairy manure influences soil properties, plant nutrient uptake, and tuber quality in potatoes*. Agronomy Journal, 110(2), 1–12. https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.21660

Liu Q., Qiao N., Xu X, Xin X., Han JY., Tian Y., Ouyang H., y Kuzyakov Y. (2016) *Nitrogen acquisition by plants and microorganisms in a temperate grass-*

land Sci Rep. 10(6). https://www.nature.com/articles/srep22642

Luna, R., Espinosa, C., Trávez, T., Ulloa, M., Espinoza, C. y Bejarano, A. 2015. *Respuesta de variedades de papa (Solanum tuberosum, L.) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química*. Publicado como nota técnica en Ciencia y Tecnología. 9(1),11-16.

Méndez-Alvarado, A. 2022. *Evaluación de la composta producida en la Planta de Compostaje de Xalapa Veracruz*. TESIS, pp. 64.

Peñaloza, J., Reyes, A., Gonzáles, A., Pérez, D., y Sangerman, D. (2019). *Fertilización orgánica con tres niveles de gallinaza en cuatro cultivares de papa*. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 10(5), 1139-11. https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n5/2007-0934-remexca-10-05-1139.pdf

Romi, M., y Macci, C. Di Matteo, L., (2024). *Residual effect of compost and biochar amendment on soil chemical, biological, and physical properties and durum wheat response*. Agronomy, 14(4), 749. https://doi.org/10.3390/agronomy14040749

SEMARNAT (2018) *NMX-AA-180-SCFI-2018. NORMA MEXICANA* semarnat.gob.mx

Capítulo **32**

Diseño y simulación de una máquina extractora de semillas de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* K. Koch)

Salazar Melgar Plutarco[65]
Villaseñor Perea Carlos Albertos[66*]
Mancera Rico Arturo[67]
López Canteñs Gilberto de Jesús [66]

[65] Programa de Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. plutarcos505@gmail.com.
[66] Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco Km 38.5. Chapingo, Estado de México, México, C.P. 56230. *Autor de correspondencia. Tel.: +52 5959517952. cvillasenorp@chapingo.mx.
[67] Departamento de fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Resumen

Este trabajo se enfocó en el diseño y simulación de una máquina extractora de semillas de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* K. Koch) para aumentar la productividad y reducir el tiempo operativo y las pérdidas asociadas con los métodos manuales. Se utilizó la metodología de G. Pahl y W. Beitz (2002) para un desarrollo sistemático que incluyó pruebas mecánicas y parametrización en calabazas y parametrización en semillas para dimensionar componentes clave. Se creó un modelo 3D en SolidWorks® 2022 y se realizaron análisis estáticos en el chasis y el sistema de separación de semillas (criba). Los análisis estáticos confirmaron la viabilidad estructural del diseño, con tensiones, deformaciones y desplazamientos dentro de los límites, gracias a modificaciones como el fortalecimiento del eje principal con una barra sólida. El modelo propuesto puede reducir el tiempo operativo en más del 50 % y mejorar la eficiencia de extracción, sentando una base sólida para su construcción y validación.

Introducción

México es un centro de origen y domesticación de varias especies de Cucurbita, incluyendo la C. argyrosperma K. Koch o calabaza pipiana (Peña Basurto et al., 2014; Rios Santos et al., 2018). La domesticación de estas especies se centró inicialmente en sus semillas, que son ricas en ácidos grasos y carbohidratos (Barrera-Redondo et al., 2021; Lira et al., 2016; Mera Ovando et al., 2011; Rodríguez-Amaya et al., 2009). En México, el principal interés en la calabaza pipiana radica en el consumo de sus semillas, utilizadas en dulces y guisos regionales (Barrera-Redondo et al., 2021; Lira et al., 2016). Además de su importancia gastronómica, tienen un alto valor nutricional, ya que son ricas en minerales esenciales como nitrógeno, fósforo, calcio, zinc y potasio; también se les atribuyen usos medicinales como antihelmíntico, diurético y vermífugo (Habib et al., 2015; Mera

Ovando et al., 2011). A pesar de su importancia, el proceso de extracción de las semillas se realiza mayoritariamente de forma manual, un método que consiste en abrir los frutos, extraer la pulpa y limpiar las semillas, lo cual es laborioso y poco eficiente. En este contexto, la mecanización agrícola emerge como una solución crucial para incrementar la eficiencia técnica, social y económica de los procesos productivos, lo que se traduce directamente en un aumento de la productividad y además dignifica el trabajo humano (Cortés M et al., 2009; Larqué Saavedra et al., 2012; Pérez De Corcho Fuentes et al., 2017). Para los pequeños y medianos productores, que a menudo emplean sistemas tradicionales con escaso uso de tecnología, es fundamental la implementación de tecnologías apropiadas; estas deben ser económicas, prácticas, de fácil mantenimiento y operación, con costos y capacidades operativas acordes al tamaño de sus explotaciones (Negrete, 2011; Pérez De Corcho Fuentes et al., 2017). Considerando la problemática expuesta y la relevancia de la semilla de calabaza para la salud, la economía y la gastronomía del país, el objetivo principal de este trabajo es el diseño y simulación de una máquina extractora de semilla que responda a las necesidades de los pequeños productores, buscando optimizar y modernizar esta etapa clave del procesamiento. Para fundamentar el diseño, se llevaron a cabo pruebas mecánicas y de caracterización en las calabazas y semillas, lo que permitió comprender sus propiedades físicas y mecánicas y garantizar un diseño sólido y efectivo. Posteriormente, se desarrolló un modelo tridimensional de la máquina en el software SolidWorks® 2022 en su versión educativa, siguiendo la metodología de G. Pahl y W. Beitz (2002), sobre el cual se realizó un análisis estático exhaustivo para evaluar su capacidad estructural y su desempeño bajo cargas operativas. Con este enfoque, se busca sentar las bases para una producción más eficiente y sostenible, acorde a las necesidades del sector agrícola.

Materiales y métodos

El estudio se centró en el diseño y simulación de una máquina extractora de semillas de calabaza pipiana obtenidas de Irapuato, Guanajuato. Se aplicó la metodología de G. Pahl y W. Beitz (2002), que parte de la definición de requerimientos (bajo costo, mínima pérdida de semillas y facilidad de operación) para llegar a un diseño conceptual detallado.

Parametrización y ensayos mecánicos. Se realizó una caracterización dimensional de 60 semillas de calabaza (base, alto y grosor) y de los frutos (peso, diámetro y altura) para dimensionar componentes clave como la tolva y la criba.

Figura SEQ Figura * ARABIC 1. *Parámetros de la calabaza.*

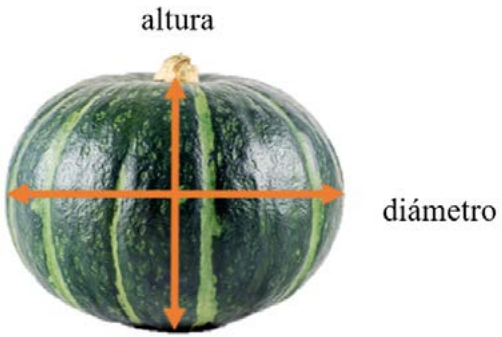


Figura SEQ Figura * ARABIC 2. *Parámetros de la semilla: A: ancho; L: largo y E: espesor.*

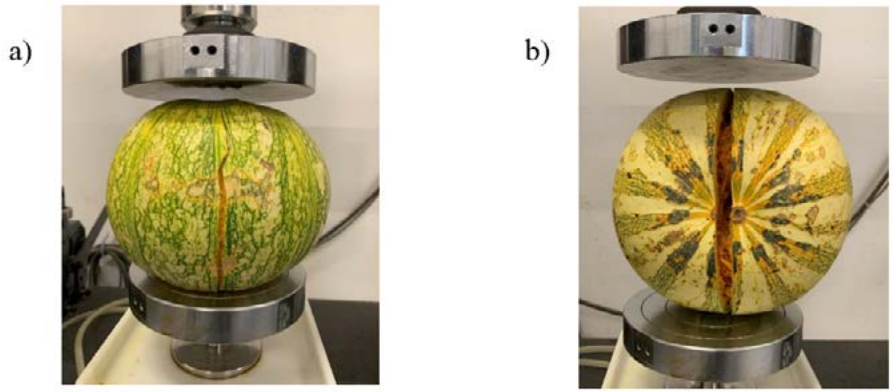
Los datos de las semillas también se usaron para ajustar un modelo de regresión múltiple para predecir su volumen:

$$V = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \qquad (1)$$

Donde: β_0– es el intercepto; β_1, β_2 y β_3 – son coeficientes de regresión; x_1 – base; x_2 – alto; x_3 – grosor.

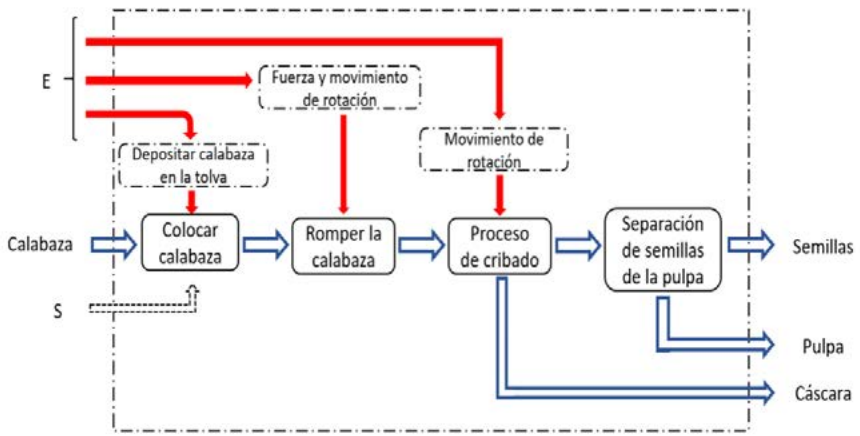
Se llevaron a cabo ensayos mecánicos de compresión en los frutos en posición vertical y horizontal utilizando una máquina universal de ensayo (Instron 3382). Con la finalidad de determinar la fuerza máxima de rotura, dato esencial para el cálculo del torque y la selección de la potencia del motor.

Figura SEQ Figura * ARABIC 3. *Posición del fruto acomodado en los platos de la máquina Instrom 3382. a) posición vertical y b) posición horizontal.*



Diseño conceptual y cálculos de ingeniería. Siguiendo la metodología de Pahl y Beitz, se definió la función global (caja negra) y se desglosó en un análisis funcional para visualizar los mecanismos de la máquina.

Figura SEQ Figura * ARABIC 4. *Análisis funcional de la máquina extractora de semillas.*



Con los datos de los ensayos mecánicos (carga máxima de compresión de 3119.854 N), se realizaron los siguientes cálculos:

Selección del motor: Se calculó el torque y la potencia (HP) requeridos

$$HP = \frac{Torque * rpm}{5252} \quad (2)$$

Donde: *HP* – caballo de fuerza; *rpm* – revoluciones por minuto.

Sistema de transmisión: se dimensionaron el ancho de la banda, la longitud de la correa y los diámetros de las poleas:

$$b = \frac{R * M}{K * P} \quad (3)$$

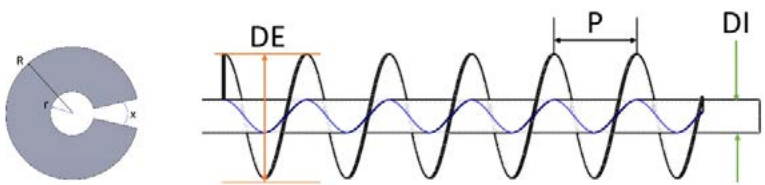
$$L \approx 2C + 1.57(D_2 - D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad (4)$$

$$d_1 * n_1 = d_2 * n_2 \quad (5)$$

Donde: b – ancho de banda; R – potencia nominal del motor; M – factor de corrección, tabla; K – espesor de banda de una sola capa, tabla; P – factor de corrección respecto al diámetro de polea. L – longitud de la correa; C – distancia de centros de poleas; D_1 – diámetro de la polea menor; D_2 – diámetro de la polea mayor. d_1 – diámetro de la polea uno; d_2 – diámetro de la polea dos; n – revoluciones por minuto.

Transportador helicoidal. Se diseñó un eje sinfín de paso corto (84.66 mm) para la expulsión de las semillas

Figura SEQ Figura * ARABIC 5. *Transportador helicoidal de paso corto.*



Donde: diámetro externo (DE) – 127 mm; diámetro interno (DI) – 33.401 mm; paso (P) – 84.66 mm

Sistema de separación. Se diseñó una criba tipo harnero giratorio, cuyas dimensiones se basaron en el estudio estadístico de las semillas.

Modelado 3D y análisis estático. Se creó un modelo3D completo de la máquina en SolidWorks® 2022 en su versión educativa. Posteriormente, se realizó un análisis estático por elementos finitos para evaluar la integridad estructural de lo componentes críticos, como el chasis y el eje

principal (proceso de cribado), bajo cargas operativas. Este análisis permitió identificar zonas con altas tensiones, deformaciones y desplazamientos y validar las modificaciones de diseño implementadas para asegurar la viabilidad del prototipo.

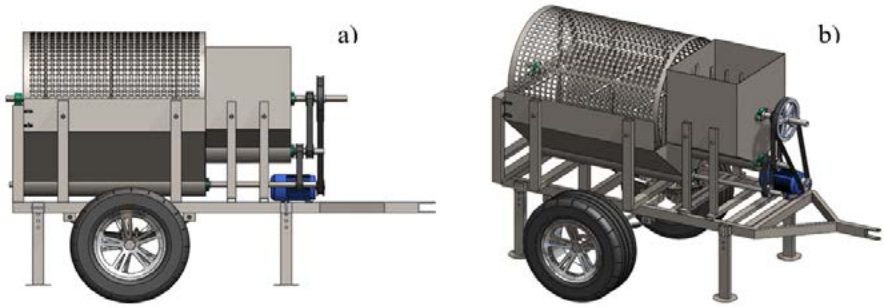
Resultados

Caracterización y modelo de regresión. El análisis de 60 semillas mostró dimensiones promedio de 9.95 mm de base, 22.20 mm de alto y 3.56 mm de grosor, siendo la altura el parámetro con mayor variabilidad. El modelo de regresión lineal múltiple para el volumen de la semilla mostró un ajuste sobresaliente (R^2=0.9984), confirmando que las dimensiones lineales explican con alta precisión el volumen.

$$V = -1540.85 + 77.885x_1 + 33.94x_2 + 225.04x_3 \quad (6)$$

Resultados de cálculos y diseño. El ensayo mecánico determinó una carga máxima de compresión de 3119.854 N. A partir de este dato, se calculó un torque de 96.71 Nm y una potencia requerida de 7.7 HP. El diseño de la transmisión resultó en un ancho de banda de 100.77 mm y una longitud de correa de 1713.86 mm. El transportador helicoidal se diseñó con 84.66 mm de paso y una longitud total de 750 mm. El sistema de separación se materializó en una criba giratoria (harnero) que separa las semillas del bagazo por movimiento y filtración a través de sus orificios. Todos estos componentes se integraron en el modelo 3D final.

Figura SEQ Figura * ARABIC 6. *Modelo 3D de la máquina extractora de semillas de calabaza diseñado en el software SolidWorks® 2022 versión educativa. a) vista lateral izquierda; b) vista isométrica*



Resultados del análisis estático. El análisis estático fue clave para optimizar el diseño.

Chasis. La propuesta inicial con dos patas delanteras y neumáticos traseros mostró deformaciones significativas. Se modificó añadiendo dos patas traseras. El análisis definitivo del chasis modificado mostró: tensión de von Mises máxima: 47.52 MPa, muy por debajo del límite elástico del material (250 MPa), validando la resistencia estructural. Desplazamiento máximo: 1.476 mm, considerado aceptable. Factor de seguridad: mínimo de 4.78, indicando un alto margen de seguridad.

Figura SEQ Figura * ARABIC 7. *Análisis definitivo de la estructura. (a) tensión de von Mises; (b) desplazamiento resultante*

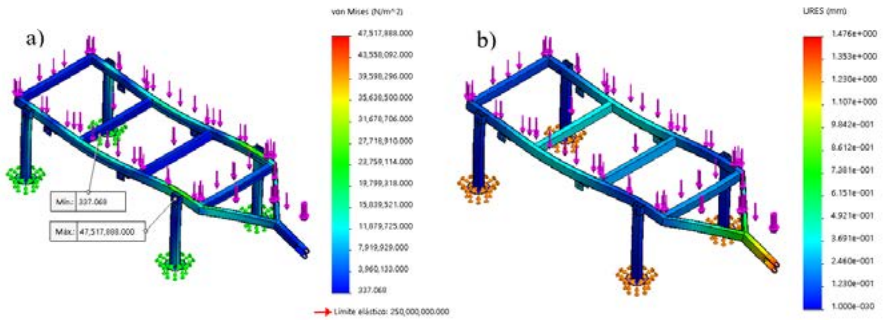


Figura SEQ Figura * ARABIC 8. *Análisis definitivo de la estructura. (a) deformaciones unitarias, (b) factor*

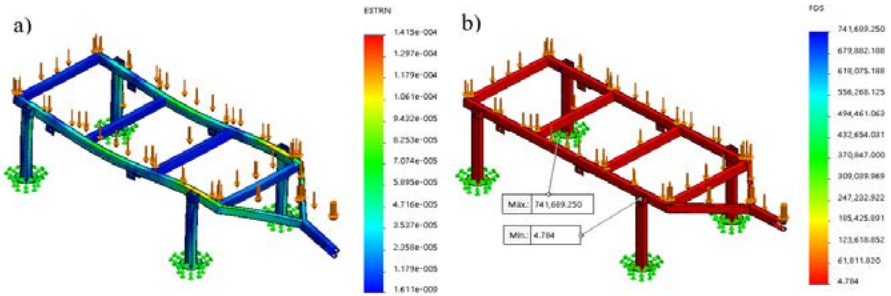
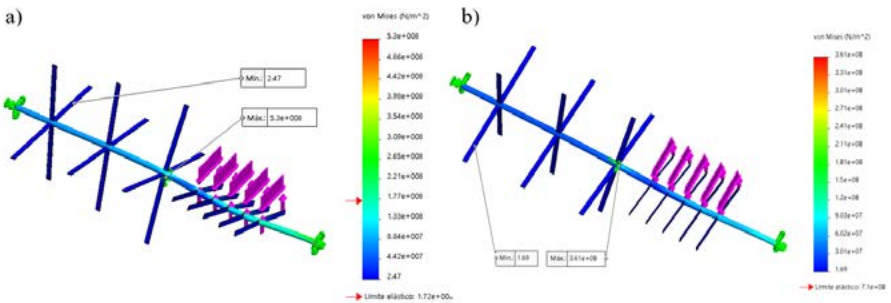


Figura SEQ Figura * ARABIC 9. *Análisis del eje principal. a) Estudio de análisis del eje principal central tubular, b) Distribución de tensiones de von Mises en la barra sólida.*



Eje principal. El análisis inicial del eje (diseñado como tubo) mostró tensiones que superaban el límite elástico del material ($5.3\ x\ 10^8\ \frac{N}{m^2}$> $1.72\ x\ 10^8\ \frac{N}{m^2}$), indicando una falla inminente. Se rediseñó como una barra sólida. El análisis definitivo de la barra sólida arrojó tensiones máximas de $3.61\ x\ 10^8\ \frac{N}{m^2}$, manteniéndose por debajo del nuevo límite elástico del material ($7.1\ x\ 10^8\ \frac{N}{m^2}$), garantizando su operación segura dentro del rango elástico.

Discusión

El diseño y simulación de la máquina extractora abordan eficazmente el bajo rendimiento de las técnicas manuales. La aplicación de la metodología de Pahl y Beitz permitió un desarrollo sistemático y fundamentado, desde la caracterización del material biológico hasta la validación estructural del prototipo. Los ensayos mecánicos fueron cruciales, ya que proporcionaron los datos empíricos necesarios para el cálculo del torque y la correcta selección del motor, un paso fundamental para asegurar el funcionamiento de la máquina. El análisis por elementos finitos demostró ser una herramienta indispensable para la validación y optimización del diseño antes de la construcción. La detección de debilidades estructurales, como las deformaciones en el chasis inicial y la tensión crítica en el eje principal, permitió realizar modificaciones correctivas clave. El fortalecimiento del chasis con patas adicionales y, de manera más crítica, el reemplazo del eje tubular por una barra sólida, fueron decisiones de diseño directamente informadas por los resultados de la simulación, garantizando la viabilidad, seguridad y durabilidad del prototipo final. En conjunto, los resultados de la simulación respaldan que la máquina propuesta es estructuralmente robusta y tiene el potencial de disminuir el tiempo operativo en comparación con el método manual. Esto confirma su viabilidad técnica y su potencial como una solución de tecnología apropiada para los pequeños y medianos productores, alineándose con el objetivo principal del estudio.

Conclusiones

Se logró con éxito el diseño y la simulación de una máquina extractora de semillas de calabaza mediante un enfoque sistemático que integró la caracterización de la materia prima, cálculos de ingeniería y análisis por elementos finitos en SolidWorks® 2022. El prototipo virtual fue desarrollado para mejorar la eficiencia, reducir el tiempo operativo y minimizar las pérdidas asociadas a los métodos tradicionales. La metodología de Pahl y Beitz, apoyada en ensayos mecánicos y caracterización morfológica, fue esencial para dimensionar adecuadamente los componentes clave del modelo 3D y calcular la potencia del motor. Los análisis estáticos confirmaron la viabilidad estructural del diseño final después de implementar

ajustes críticos. El prototipo propuesto demuestra una sólida factibilidad técnica y constituye una base robusta para su futura construcción y validación experimental, ofreciendo una alternativa tecnológica viable y apropiada para pequeños y medianos productores agrícolas.

Referencias

Barrera-Redondo, J., Sánchez-De La Vega, G., Aguirre-Liguori, J. A., Castellanos-Morales, G., Gutiérrez-Guerrero, Y. T., Aguirre-Dugua, X., Aguirre-Planter, E., Tenaillon, M. I., Lira-Saade, R., y Eguiarte, L. E. (2021). *The domestication of Cucurbita argyrosperma as revealed by the genome of its wild relative*. Horticulture Research, 8(109), 1-14. https://doi.org/10.1038/s41438-021-00544-9

Cortés M, E., Álvarez M, F., y González S, H. (2009). *La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo*. Revista CES/ Medicina Veterinaria y Zootecnia, 4(2).

Cross, N. (2002). *El proceso de diseño (F. R. Pérez Vázquez, Trans.). In Métodos de diseño. Estrategias para el Diseño de Productos* 29–42. Limusa. Grupo Noriega Editores.

Habib, A., Biswas, S., Siddique, A. H., M., M., Uddin, B., Hasan, S., MMH, K., Uddin, M., Islam, M., Hasan, M., Rahman, M., M., A., M., S. R., M., K., MA, I., y Rahman Matiar. (2015). *Nutritional and Lipid Composition Analysis of Pumpkin Seed (Cucurbita maxima Linn.)*. Journal of Nutrition y Food Sciences, 5(4), 1-6. https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000374

Larqué Saavedra, B. S., Cortés Espinoza, L., Sánchez Hernández, M. Á., Garay Ayala, A. V., y Sangerman-Jarquín, D. Ma. (2012). A*nálisis de la mecanización agrícola de la región Atlacomulco, Estado de México.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4, 825–837. http://www.inafed.gob.mx/work/templates/

Lira, R., Casas, A., y Blancas, A. (2016). *Ethnobotany of Mexico: Interaction of People and Plants in Mesoamerica*. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7

Mera Ovando, L. M., Bye Boettler, R. A., Villanueva Verduzco, C., y Luna Mera, A. (2011). *Documento de diagnóstico de las especies cultivadas de Cucurbita L.*

Negrete, J. C. (2011). *Políticas de mecanización agrícola en México.* Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad–CTS., 1–23. www.revistacts.net

Peña Basurto, F., Castro Lara, D., Martínez Moreno, D., Rodríguez Ramírez, T., y Peralta Rodríguez, L. (2014). U*SO Y MANEJO DE LAS Calabazas Culticadas (Cucurbita spp.) EN EL ESTADO DE PUEBLA. AGRO PRODUCTIVIDAD,* 7(6), 44–49.

Capítulo **33**

Construcción de un indicador de sostenibilidad agroecológica en función de la productividad por uso del agua y rentabilidad de cultivos en el noroeste de México

Troyo Diéguez Enrique[1]
Lucero Vega Gregorio[2]
Nieto Garibay Alejandra[1]
Murillo Amador Bernardo[1]
Fraga Palomino Héctor[1]

[1] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, B.C.S. etroyo04@cibnor.mx.
[2] Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento de Agronomía, La Paz, B.C.S.

Resumen

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) divide al país en cinco regiones, siendo la región noroeste una de ellas, conformada por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora. Su población supera unos 12 millones de habitantes, de los cuales 15 % vive en zonas rurales y solo 5 % se dedica a agricultura, ganadería o pesca, siendo el maíz grano el cultivo más importante de la región, principalmente en Sinaloa, mientras que en Sonora destaca el trigo. Se realizó un análisis de la productividad por uso de agua y rentabilidad de los principales cultivos en regiones productoras de Sinaloa y Sonora. Dicha información se descargó del SIAP correspondiente al 2024, los datos se tabularon en matrices y, a partir de ellas, se seleccionaron las variables con mejor resolución. La tendencia hacia la sostenibilidad se valoró mediante el indicador propuesto Índice Agro-Social-Ambiental (IASA), detectando los cultivos "sostenibles" y de "sostenibilidad media-baja". Los cultivos sostenibles para Sinaloa fueron: chile verde, tomate rojo, pepino, agave, berenjena, papa y arándano, donde el trigo refleja valores bajos de sostenibilidad, por lo que se sugiere revisar sus parámetros agroecológicos. Para el Valle del Yaqui, Sonora, los cultivos sostenibles fueron: tomate rojo, espárrago, apio, uva de mesa, lechuga y papa, donde el frijol refleja valores endebles. Como se esperaba, las hortalizas apuntan hacia la sostenibilidad, que se valoraría con más precisión ampliando la gama de indicadores y descriptores sensibles.

Introducción

La reflexión conceptual de la sostenibilidad comprende dos aspectos: uno positivo y uno normativo. La sostenibilidad positiva establece que dicho concepto se entiende dentro de una teoría, teniendo en cuenta que no existe una sola acepción del término; por su parte, la sostenibilidad normativa determina lo que debe ser la sostenibilidad, señalando el sistema

de referencia (Gómez et al., 2015). Los principios agroecológicos de base para la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles son: 1) reducción de insumos, 2) salud del suelo, 3) salud y bienestar animal, 4) biodiversidad, 5) sinergia, 6) diversificación económica y 7) valores sociales y canasta básica ampliada (Levidow, 2020). Los cuales se describen a continuación:

- **Reducción de insumos.** Prácticas agroecológicas que reducen el uso de insumos.
- **Salud del suelo y sostenibilidad del agua.** Los suelos son la base de los ecosistemas terrestres, por lo que la salud de este recurso es crucial para la producción mundial de alimentos; a su vez, la disponibilidad del agua es vital para la sostenibilidad agrícola.
- **Salud y bienestar animal.** La agroecología promueve la reconfiguración de los sistemas ganaderos, reintegrándolos a los agroecosistemas para garantizar el bienestar y la salud.
- **Biodiversidad.** La biodiversidad favorece el aprovechamiento de los controles biológicos.
- **Sinergia.** La sinergia es la esencia de la agroecología e incluye las interacciones ecológicas entre los elementos del agroecosistema, en el tiempo y en el espacio.
- **Diversificación económica.** La diversificación agrícola garantiza mayor independencia financiera con opciones de valor añadido, respondiendo a la demanda de los consumidores.
- **Valores sociales y canasta básica ampliada.** Uno de los principios fundamentales de la agroecología consiste en "crear sistemas alimentarios basados en la cultura, identidad, tradición, equidad social y de género de las comunidades" (HLPE, 2019; Levidow, 2020).

Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), destaca el Objetivo 2, crear un mundo libre de hambre para 2030, toda vez que el problema del hambre y la inseguridad alimentaria han mostrado un aumento alarmante desde 2015 (ONU, 2023). Lo anterior implica la necesidad de herramientas que evalúen la sostenibilidad de cultivos. La evaluación agroecológica de cultivos debe considerar variables indicadoras cruciales para los agricultores y la sociedad, en los tres ejes: a) económico-productivo, b) social y c) ambiental. El objetivo del presente estudio fue analizar variables de productividad por uso del agua y rentabilidad de los principales cultivos en el noroeste de México.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, ubicado 17 km al oeste de la Cd. de La Paz, BCS. Se efectuó un análisis de la productividad y rentabilidad de los principales cultivos, su beneficio social e impacto ambiental, este último a partir de la eficiencia productiva en el uso del agua. Dicha información se descargó del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para los estados de Sinaloa y Sonora, correspondientes al 2024 (SIAP, 2024). Los datos para cada región se tabularon en matrices y a partir de ellas se seleccionaron las variables por tipo de indicador: Indicador económico (IE): Ingreso económico producido por ha, con 32 % de influencia en el indicador global; Indicador social (IS): Unidades sociales beneficiadas, con 33 % como parte del global; Indicador ambiental (IA): Ingreso económico producido por m^3 de agua, con 35 % de influencia en el indicador global. Los valores de cada indicador se ponderaron a una escala de 0 a 10, donde 10 es el máximo nivel de sostenibilidad (Cuadro 1) (Monterroso et al., 2007).

Cuadro 1. *Propuesta de intervalos para la valoración de los indicadores seleccionados*

Indicador económico		Indicador social		Indicador ambiental	
Intervalo	**Puntos**	**Intervalo**	**Puntos**	**Intervalo**	**Puntos**
> $400 000	10	> 1000	10	> $100	10
$250 000 a $400 000	8	500 a 1000	9	$70 a $100	6
$100 000 a $250 000	6	200 a 500	6	$50 a $70	4
$50 000 a $100 000	4	50 a 200	3	$20 a $50	3
< $50 000	2	< 50	1	< $20	0.5

A partir de dichos valores, en este estudio se propone el Índice AgroSocial-Ambiental (IASA) para diagnosticar los cultivos según la rentabilidad y el ingreso económico generado por m^3 de agua utilizado, según la expresión: IASA = (IE*0.32) + (IS*0.33) + (IA*0.35)

Resultados y discusión

El análisis de la producción y variables asociadas con la finalidad de diagnosticar un estado de sostenibilidad es complejo y demanda la conjugación de los aspectos y externalidades asociados a los agrosistemas y su entorno social. Se analizaron los datos de producción y productividad por m^3 de agua de los principales cultivos en dos regiones productoras del noroeste de México, Sinaloa y Sonora. Para Sinaloa, los 10 cultivos que sobresalen por el ingreso económico que generan son el pepino, berenjena, tomate rojo, chile verde, papa, agave, arándano, cebolla, aguacate y calabaza; destacan dos cultivos emergentes, el agave y el arándano; los cultivos relevantes según el ingreso generado por volumen de agua consumida fueron el agave, berenjena, pepino, tomate rojo y chile (Cuadro 2). En el Valle del Yaqui, Sonora, los diez cultivos en el tope de los registros 2024 por el ingreso monetario generado fueron, uva mesa, tomate rojo, apio, espárrago, pepino, papa, lechuga, cebolla, chile y col (repollo). En cuanto a la productividad por el uso de agua, sobresalen el espárrago, el apio y el tomate rojo (Cuadro 3). El indicador IASA para Sinaloa reflejó una mejor tendencia hacia la sostenibilidad, indicando valores adecuados en los cultivos: chile verde, tomate rojo, pepino, agave, berenjena, papa y arándano, donde el trigo refleja valores bajos. Para el Valle del Yaqui, Sonora, los cultivos sostenibles fueron el tomate rojo, espárrago, apio, uva-mesa, lechuga y papa; el frijol mostró valores endebles (Figura 1). Las hortalizas apuntan hacia la sostenibilidad según IASA, mostrando en su mayoría valores arriba de la media (Figura 1).

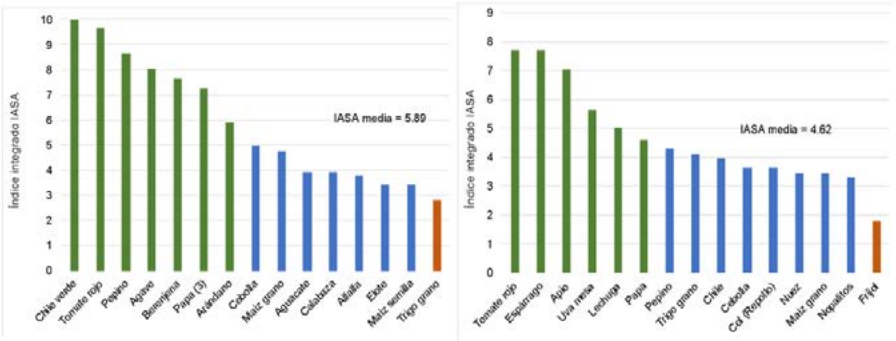
Cuadro 2. *Descriptores de producción de los cultivos principales en Sinaloa, México (2024).*

	Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Valor (millones de pesos MXN)	Valor producido por ha	Unidad soc. beneficiada (estimado)	Lám. Riego (cm)	Valor prod. por m^3 de agua
1	Pepino	2855.04	2301.99	$806 291.53	238	50	$161.26
2	Berenjena	542.5	407.07	$750 364.26	68	46	$163.12
3	Tomate rojo	13 342.48	7987.85	$598 678.29	890	45	$133.04
4	Chile verde	15 316.05	8381.60	$547 242.67	1276	52	$105.24
5	Papa	13 394.54	5339.77	$398 652.49	1117	61	$65.35
6	Agave	1899.40	706.30	$371 855.68	237	20	$185.93
7	Arándano	1968.60	578.31	$293 765.26	246	58	$50.65
8	Cebolla	1813.33	478.62	$263 945.81	181	39	$67.68
9	Aguacate	340.5	86.17	$253 068.40	43	105	$24.10
10	Calabaza	378.82	86.48	$228 286.81	47	46	$49.63
39	Elote	5676.70	407.58	$71 799.59	405	64	$11.22
41	Maíz semilla	2103.76	118.50	$56 328.09	263	65	$8.67
45	Maíz grano	290 798.52	15 404.51	$52 973.15	11 632	62	$8.54
54	Trigo grano	31 134.00	1265.40	$40 643.53	479	64	$6.35

Cuadro 3. *Descriptores de producción de los cultivos principales en el distrito DDR 148 Cajeme, Valle del Yaqui, Sonora (2024).*

	Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Valor (millones de pesos MXN)	Valor producido por ha	Unidad soc. beneficiada (estimado)	Lám. Riego (cm)	Valor prod. por m^3 de agua
1	Uva mesa	96	$55.10	$573 958.33	10	62	$92.57
2	Tomate rojo	675	$309.20	$458 074.07	68	45	$101.79
3	Apio	30	$13.30	$443 333.33	5	32	$138.54
4	Espárrago	1,171.00	$472.20	$403 245.09	98	28	$144.02
5	Pepino	185	$57.30	$309 729.73	16	50	$61.95
6	Papa	4665.00	$1,357.20	$290 932.48	100	61	$47.69
7	Lechuga	70	$18.40	$262 857.14	8	33	$79.65
8	Cebolla	161	$39.80	$247 204.97	16	39	$63.39
9	Chile	433	$102.20	$236 027.71	86	52	$45.39
10	Col (Repollo)	30	$6.70	$223 333.33	5	33	$67.68
22	Nopalitos	5	$0.50	$100 000.00	1	22	$45.45
25	Maíz grano	4204.00	$276.70	$65 818.27	350	62	$10.62
27	Frijol	1051.00	$48.30	$45 956.23	105	44	$10.44
28	Trigo grano	65 015.00	$2,143.20	$32 964.70	1000	64	$5.15

Figura 1. *Valores del Índice IASA para el estado de Sinaloa (gráfica izquierda) y el Valle del Yaqui, Sonora (gráfica derecha). Verde: sostenible; Azul: medianamente sostenible; Rojo: sostenibilidad endeble. Las barras en azul y rojo alcanzan valores menores a la media.*



Conclusiones

Los cultivos analizados en las zonas de estudio son dependientes de insumos, aunque los mercados dictan la opciones a cultivar. El Indicador IASA para Sinaloa alcanzó una media de 5.89 y para el Valle del Yaqui, Sonora, de 4.62, ambos valores alejados del óptimo ideal de 10. El maíz en Sinaloa y el trigo en el Valle del Yaqui reflejaron valores de IASA por debajo de la media, interpretandose como poco sostenibles. Dichos cultivos resultaron bajos en el rubro de producción por m^3 de agua, aunque son socialmente importantes porque representan el sustento para numerosos grupos de producción y familias. Para su mejoramiento agroecológico será necesario revisar el contexto productivo y sugerir elementos de sustentabilidad, según el perfil socioambiental.

Referencias

Gómez, L.F.; Ríos-O., L.A.; Eschenhagen-D., M.L. 2015. El concepto de sostenibilidad en agroecología. Revista UDCA Actualidad y Divulg. Científica, 18(2), 329-337. http://www.scielo.org.co/ scielo.php?script=sci_arttextypid=S0123-42262015000200005ylng=enytles.

High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. (2019). Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Levidow, L. 2020. Agroecology's societal benefits depend on solidaristic relationships: some experiences from Brazil. Proyecto: 'Research Partnership for an Agroecology-Based Solidarity Economy in Bolivia and Brazil', financiado por UK's Arts y Humanities Research Council (AHRC), Global Challenges Research Fund, No. AH/T004274/1. https://www.agroecology-europe.org/wp-content/uploads/2021/10/Month-of-Agroecology-Article-on-Social-Values-Les-Levidow-.pdf

Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, A. C., Gómez-Díaz, J. D., y López-García, J. (2009). Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. Zonas Áridas, 11, 47–60. https://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0086_PU-SA-VIII-2012-A_MONTERROSO.pdf

Naciones Unidas. (2023). Informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/

The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=1*1gbmo64*_ga*MzE5NjY4NzEyLjE3NjAxNzI3NjE.*_ga_TK9BQL5X7Z*czE3NjAxNzI3NjEkbzEkZzEkdDE3NjAxNzMwMzEkajYwJGwwJGgw

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola [Conjunto de datos]. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Capítulo **34**

Riego automatizado con arduino y comunicación lora

Villa Sauceda Jesús[1]
Rodríguez Julio Cesar[2]
Cruz Bautista Fidencio[71*]
Peralta Duarte Gonzalo[70]

[1] Maestría en Sistemas de Producción Agropecuaria. Departamento de Agricultura y Ganadería1. Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México. Departamento de Agricultura y Ganadería.
[2] Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México Correo electrónico (*Autor de correspondencia: fidencio.cruz@unison.mx).

Resumen

Este artículo describe un sistema automatizado de riego por goteo basado en microcontroladores Arduino y comunicación inalámbrica LoRa, diseñado para optimizar el uso del agua en cultivos. El sistema utiliza una arquitectura maestro-esclavo: el maestro recopila datos de cuatro sensores de humedad del suelo HD38, analiza las condiciones de humedad del suelo y controla el riego mediante relés de estado sólido, con operación automática o manual. La comunicación LoRa (largo alcance) permite una transmisión de datos fiable y en tiempo real, cubriendo grandes áreas sin infraestructura convencional. Los datos recopilados se almacenan en una base de datos MySQL y se visualizan mediante una aplicación Python, lo que facilita el monitoreo y el análisis de la humedad para la toma de decisiones. Se integró un análisis gráfico de los eventos de riego, caracterizando la relación entre el tiempo de aplicación, la frecuencia y la lámina de agua aplicada. Los gráficos resaltaron la variabilidad temporal, frecuencia y volumen aplicado. El sistema activa el riego cuando los sensores detectan niveles bajos de humedad y lo desactiva una vez alcanzados los umbrales máximos definidos, garantizando una gestión precisa de los recursos hídricos. Además, la integración de hardware, software y análisis gráfico permite una operación eficiente y escalable en diversos escenarios agrícolas. El sistema Arduino con comunicación LoRa es una solución confiable para la gestión del agua, promoviendo la sostenibilidad y la resiliencia agrícola frente al cambio climático.

Introducción

La escasez de agua y la necesidad de optimizar el riego agrícola han motivado el desarrollo de sistemas y estrategias que permitan su manejo eficiente (CONAGUA, 2021). Los microcontroladores Arduino® combinados con tecnologías de comunicación inalámbrica como LoRa® (long range o largo alcance) permiten construir sistemas capaces de monitorear el estatus

hídrico del suelo y controlar el suministro de agua de manera autónoma (Reyes y Cid, 2015; Lal, 2013; Jain, 2013). Este trabajo tiene como objetivo implementar un sistema automatizado de riego por goteo, integrando bomba de riego, electroválvulas, sensores de humedad para suelo HD38 y comunicación LoRa. Además de una aplicación en Python® para el manejo, monitoreo, control y registro de datos.

Materiales y métodos

La implementación en fase de campo del sistema de riego automatizado se realizó en el Campo Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, ubicado a 21 km por la carretera a Bahía de Kino, en Hermosillo, Sonora. El sistema se compone de un Arduino maestro y un esclavo. El primero se conecta a cuatro sensores de humedad del suelo, tipo Time Domain Reflectometry (TDR) marca HD38, y una antena LoRa. El microcontrolador (maestro) censa y analiza los valores de humedad del suelo mediante los TDR; el umbral de humedad (30–60 %) permite activar o detener el riego automáticamente según Márquez et al. (2024). Si se cumple la condición, entonces activa o desactiva relevadores para encendido y/o apagado de la bomba de riego, electroválvula general y electroválvula en la sección de riego correspondiente (tres secciones de riego diferenciado). También se incluyó una opción para el encendido y/o apagado manual del riego. El segundo Arduino esclavo recibe los datos transmitidos por LoRa y los muestra en el monitor serial para su posterior registro en la aplicación Python (Machado y Coto, 2017). La configuración en LoRa incluyó librería SF12 (transmisión de datos), con ancho de banda 125 kHz (Moreira y Alaña, 2025) y codificación robusta. La aplicación se conectó al puerto serial del mismo Arduino esclavo y guardó en una base de datos MySQL. Adicionalmente, se generaron gráficas, en tiempo real, del contenido de la humedad, se analizó el estado de los sensores y se guardó registro de datos en un archivo de tipo texto.

Resultados y discusión

El sistema de riego automatizado mostró un rendimiento eficiente en el control del riego, soportando los hallazgos de García et al. (2023) sobre

sistemas IoT inteligentes. Los sensores de humedad HD38 registraron con consistencia el contenido de humedad del suelo (Figura 1), demostrando una precisión comparable a la reportada por Rodríguez et al. (2023) en el uso de sensores de resistencia para programación de riego. La transmisión de datos mediante LoRa fue efectiva, logrando una cobertura estable de hasta 1 km, superando las distancias típicas mencionadas en la literatura para aplicaciones agrícolas. Los resultados de las láminas de agua aplicada (2.00 a 6.40 mm por evento) se alinean con los rangos óptimos identificados por Thompson y Lee (2022) para cultivos extensivos, mientras que la lámina acumulada progresiva (de 5.33 a 107.87 mm) evidencia la capacidad del sistema para ajustar dinámicamente el riego según el contenido de humedad del suelo (Figura 2). Cuando se registró buen contenido de humedad (45 %), el sistema aplicó láminas de riego menores (tiempo de riego menor), replicando los principios de eficiencia hídrica descritos por Martínez y López (2022). Mientras que, en condiciones de baja disponibilidad hídrica, incrementó las láminas aplicadas (mayor tiempo de riego) para satisfacer las necesidades del cultivo. Esta respuesta adaptativa confirma la capacidad del sistema para gestionar adecuadamente el riego, para hacerlo solo cuando es necesario, principio fundamental destacado por Chen y Smith (2024) en análisis económicos de consumo hídrico. La integración con Python y las alertas automáticas proporcionaron un control completo que optimizó el uso del agua y que contribuye a una agricultura más sostenible, alineándose con las tendencias actuales de agricultura de precisión reportadas en la literatura especializada.

La Figura 2 evidencia heterogeneidad en láminas aplicadas, concordando con lo señalado por Martínez y López (2022). El patrón escalonado coincide con Thompson y Lee (2022), mientras las discrepancias tiempo-lámina, según Chen y Smith (2024), revelan ajustes operativos que optimizan la eficiencia hídrica del sistema automatizado.

Figura 1. *Respuesta de los sensores HD38-TDR en tiempo real con relación contenido de humedad del suelo, con aplicación Python.*

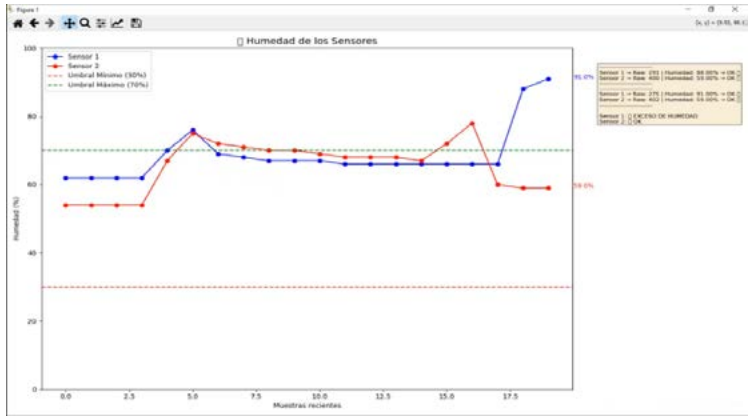
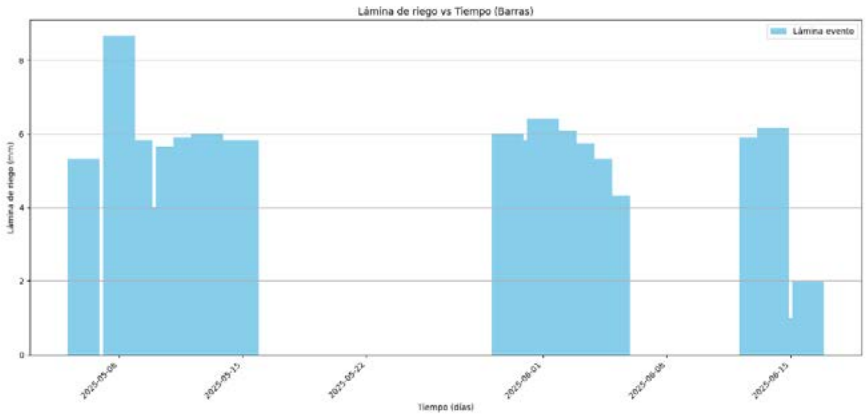


Figura 2. *Análisis multivariable del sistema de riego, recopilado de la base de datos MySQL® y desarrollado con Python.*



Conclusiones

El sistema automatizado de riego desarrollado con Arduino-Uno®, sensores de humedad HD38 y comunicación LoRa® demostró ser una solución eficiente para la gestión del riego en cultivos como el sorgo, cultivo prueba. La capacidad de los sensores para detectar con precisión los niveles de humedad del suelo y la estabilidad de la transmisión LoRa hasta 1

km permitieron un monitoreo efectivo en tiempo real.

El riego, en función de la humedad del suelo, optimizó el uso del agua de riego, garantizando que se aplicara solo cuando fuese necesario. La integración de un sistema de alertas y la visualización de datos en tiempo real, mediante una aplicación Python®, mejoraron significativamente la toma de decisiones y la eficiencia operativa. Este sistema promueve prácticas más resilientes frente al cambio climático y la escasez de agua, lo que contribuye a la sostenibilidad agrícola.

Referencias

Chen, X., y Smith, J. D. (2024). *Economic analysis of irrigation water consumption in urban agriculture*. Urban Forestry y Urban Greening, 85.

Comisión Nacional del Agua (2021). *Estadística del Agua en México 2021*. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM %202021.pdf

García, M., Rodríguez, P., y Fernández, A. (2023). *Smart irrigation system using IoT and neural networks*. Journal of Agricultural Engineering, 45(2), 123–135.

Jain, R. K. (2023). *Smart Agricultural Technology*. Smart Agricultural Technology, 4. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100215

Lal, R. (2013). *Gestión del carbono del suelo y cambio climático.* Carbon Management, 4(4), 439–462. https://doi.org/10.4155/cmt.13.41

Machado-Díaz, E., y Coto-Fuentes, H. (2017). *Sistema de adquisición de datos con Python y Arduino.* Revista Ciencia e Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, 3, 1–6. https://teclerdo.tecnm.mx/revista/ciencia-e-ingenieria/article/view/45

Márquez, J. E., Prieto, A., Manrique, M., y Sánchez, Ó. (2024). *Sistema de riego automatizado para un cultivo de pequeña superficie.* Revista Tecnológica - ESPOL, 36(2), 32–45. https://doi.org/10.37815/rte.v36n2.1227

Martínez, R., y López, C. (2022). *Water-use efficiency in small-scale vegetable production*. Agricultural Water Management, 271. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107768

Moreira Calle, I. A., y Alaña Pután, J. A. (2025). *Desarrollo de un sistema de monitoreo inalámbrico de temperatura y humedad aplicado a un sistema de riego en*

zonas rurales basado en Arduino y comunicación LORA WAN. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/74330

Reyes, F., y Cid, J. (2015). ARDUINO: A*plicado en Robótica, Mecatrónica e Ingenierías*. Alpha Editorial.

Ríos, J. R. M., Mora, N. M. L., Ordóñez, M. P. Z., y Sojos, E. L. L. (2016). *Evaluación de los frameworks en el desarrollo de aplicaciones web con Python*. Archivo de la Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software, 4(4), 201–207. http://ing-software.ec/revista/index.php/ring_software/article/view/69

Rodríguez, J., Martínez, L., y González, R. (2023). *Soil moisture monitoring using resistance sensors for irrigation scheduling*. Computers and Electronics in Agriculture, 204. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107557

Thompson, K. W., y Lee, S. H. (2022). *Optimal irrigation depths for vegetable crops in controlled environments*. Horticulture Technology, 32(4), 456–465. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04998-22

Capítulo **35**

Caracterización morfológica del grano de lenteja (*Lens culinaris medik*) mediante análisis de imágenes digitales

Sauceda Acosta Carlos Patricio[1]
Sauceda Acosta Raúl Hipólito[2]
Fuentes Verduzco Cipriano[72]
Salcido Santillán Rosario Angelica[72]
Beltrán Peña Hugo[72]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS.
[2] Campo Experimental Valle del Fuerte-INIFAP. saucedap@uas.edu.mx.

Resumen

La calidad física del grano de lenteja (Lens culinaris Medik) resulta fundamental para la industria y el consumidor, por lo que su evaluación debe ser cuantitativa. En este estudio se caracterizó la morfología de los granos de las marcas comerciales Paisa, Schettino y Verde Valle mediante análisis de imágenes digitales (AID). La obtención de las imágenes fue con escáner de cama plana; con el AID se midió el área proyectada, longitud, ancho, perímetro, circularidad, color e intensidad de la testa. El peso de cien granos (PCG) se obtuvo por relacionarse con el tamaño. El PCG varió entre 2.21 y 3.09 g, con diámetros inferiores a 5.0 mm. La marca Paisa presentó mayor número de granos asociado con un menor peso, longitud y perímetro ($p \leq 0.05$). Verde Valle mostró grano más grande. La circularidad fue constante en 0.88 en las tres marcas, lo que refleja uniformidad en la forma. En cuanto al color, Schettino presentó testa más clara y brillante con mayor intensidad, mientras que Verde Valle mostró testa más oscura y menor brillo; Paisa ocupó una posición intermedia ($p \leq 0.05$). El bajo coeficiente de variación de las variables indicó homogeneidad en las muestras, atribuida a los procesos de cribado y a la capacidad del programa MacGran-IJ para excluir impurezas y granos dañados. El análisis de imágenes digitales permite caracterizar la morfología del grano de lenteja e identificar variaciones entre marcas comerciales.

Introducción

La calidad física del grano de lenteja (Lens culinaris Medik) resulta fundamental para la industria y el consumidor. En molienda se consideran color, tamaño y condición del grano (pelado, partido o entero). Para consumo directo, el diámetro, grosor, uniformidad del grano e integridad del tegumento verde sin arrugas ni manchas. El color de la testa y del cotiledón define la aceptación del consumidor y el valor comercial. La coloración

varía de tonos claros a marrones oscuros, de menor calidad. La pérdida de color, por almacenamiento prolongado, afecta la apariencia y se asocia con reducción de nutrientes y polifenoles (Kaale et al., 2023).

El tamaño y la forma del grano de lenteja influyen en el tiempo de cocción y en la eficiencia del descascarado; por ello se consideran en los programas de mejoramiento genético. La morfología del grano es útil en las pruebas de distinción, homogeneidad y estabilidad (DHE) necesarias para la protección de variedades (Reddy et al., 2024). No obstante, con frecuencia se emplean mediciones físicas en muestras de tamaño limitado, como el peso de cien granos, el diámetro con calibrador digital o el tamizado con mallas (Dutta et al., 2022), además de estimaciones visuales para evaluar el color y los patrones de coloración (Plaza et al., 2021).

Las limitaciones de la medición física tradicional se reducen con sistemas de análisis de imágenes digitales (AID), que permiten evaluar área, perímetro, longitud, ancho, circularidad, diámetro, grosor y rugosidad. El sistema OptoAgri2 (Optomachine, Lyon, Francia) combina cámara de alta resolución, balanza de laboratorio y programa computacional, con lo cual se analiza la morfología del grano con rapidez, precisión y confiabilidad (Choukri et al., 2022). El sistema VideometerLab 4.0 (Herlev, Dinamarca) permite caracterizar un gran número de genotipos (Dutta et al., 2022). El sistema BELT identifica variaciones del color causadas por radiación (Jackson et al., 2021).

El AID mediante sistemas especializados puede resultar difícil de adquirir. Del Coco et al. (2022) señalan que muchos de estos sistemas requieren procedimientos de calibración iniciales, configuraciones de adquisición estrictas y ajustes en línea por parte de los operadores. Estos autores proponen medir las dimensiones y el color del grano de lenteja a partir de fotografías capturadas con teléfonos inteligentes; sin embargo, este enfoque presenta inconvenientes relacionados con la escala, la iluminación y el reducido tamaño de muestra. Por su parte, de Medeiros et al. (2020) presentan IJCropSeed, una macro para el programa ImageJ diseñada para medir semillas, incluidas las de lenteja, a partir de imágenes de rayos X con los elementos separados, lo que limita su aplicabilidad en evaluaciones simples y rápidas.

La digitalización de imágenes mediante escáner elimina estos inconvenientes, aunque requiere más tiempo, permite ampliar el tamaño de la muestra, limitado únicamente por el área del cristal.

Además, facilita la automatización del procesamiento al realizarse bajo condiciones de iluminación controlada. Debido a la importancia de evaluar de manera objetiva y accesible la calidad física de los granos de lenteja, el objetivo del presente estudio fue caracterizar su morfología mediante análisis de imágenes digitales.

Materiales y métodos

El grano de lenteja se obtuvo de productos envasados para el consumo humano, pertenecientes a las marcas comerciales PAISA, V. Schettino y Verde Valle, adquiridos en establecimientos de autoservicio. La muestra se conformó por los granos contenidos en 15.0 g, cuyo peso se registró con una balanza digital de precisión (Ohaus SC2020 Scout® II). De cada marca comercial se utilizaron cuatro muestras. La digitalización fue con escáner de cama plana (Canon® LiDE 300); la colocación de los granos sobre el cristal del escáner fue de manera arbitraria, sin dispersarlos. La imagen se utilizó con fondo color negro para mejorar el contraste con los granos y se almacenó en formato JPEG, a color (24 bits por píxel) y con una resolución de 300 ppp (píxeles por pulgada).

El AID se realizó con el programa MacGran-IJ para medir, de manera automática, el tamaño o área proyectada (mm^2), longitud (mm), ancho (mm), perímetro (mm), circularidad (0 = polígono alargado, 1 = círculo perfecto) y el color del grano en el espacio de color RGB (por sus siglas en inglés, Red = rojo, Green = verde, Blue = azul), la intensidad(R + G + B/3) y el brillo de la testa (%) = 100 x (rojo x 0.299 + verde x 0.587 + azul x 0.114) / 255. El peso de cien granos (g) se obtuvo al dividir el peso de la muestra entre el número de granos identificados.

El análisis de los datos se realizó con el programa SAS en línea (SAS® On-Demand For Academics). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para constatar normalidad y la prueba de Bartlett para verificar homogeneidad de varianzas. La comparación de las características morfológicas del grano entre las marcas comerciales de lenteja fue mediante ANDEVA y la prueba de Tukey de comparación múltiple de medias cuando hubo diferencias ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusiones

El peso de cien granos de lenteja varió de 2.09 a 4.21 g (Cuadro 1), dentro del intervalo reportado por Dutta et al. (2023). Según la clasificación por peso propuesta por Reddy et al. (2024), la marca Verde Valle se ubicó como de granos muy grandes (>3.0 g), Schettino de grandes (2.6-3.0 g) y PAISA de medianos (2.0-2.5 g). A pesar de las diferencias en peso y dimensiones del grano ($p \leq 0.05$), todas las marcas se clasifican como granos extrapequeños según las clases de lentejas comerciales descritas por Kaale et al. (2023). Con base en el diámetro, todas corresponden al tipo microsperma, pues están incluso por debajo de los 5.0 mm (Dutta et al., 2023). La marca PAISA presentó el mayor número de granos, lo que se reflejó en menor peso de cien granos, longitud y perímetro (Cuadro 1). La mayor anchura del grano correspondió a Verde Valle con 4.34 mm, con diferencia significativa solo con respecto a Paisa con 3.78 mm ($p \leq 0.05$). La circularidad del grano fue de 0.88 en las tres marcas, lo cual indica uniformidad en la forma.

Cuadro 1. *Número, peso de cien granos, tamaño, longitud y perímetro del grano en tres marcas comerciales de lenteja.*

Marca de lenteja	Número de granos	Peso 100 granos (g)	Tamaño (mm^2)	Largo (mm)	Perímetro (mm)
Paisa	678.50 c	2.21 a	12.60 a	4.34 a	13.32 a
Schettino	559.00 b	2.69 b	15.66 b	4.79 b	14.86 b
Verde Valle	485.75 a	3.09 c	16.35 c	4.92 c	15.20 c
Media	574.42	2.66	14.87	4.68	14.46
CV	1.69	1.66	1.47	0.67	0.72
DHS (Tukey=0.05)	19.18	0.09	0.43	0.06	0.21

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta.

La marca Schettino mostró un mayor color del grano ($p \leq 0{,}05$), lo cual indica que la testa es más clara y brillante, mientras que Verde Valle presentó testa más oscura. La menor coloración del grano en esta última marca puede deberse a la variedad o genotipo o al almacenamiento prolongado, como señalan Kaale et al. (2023).

Cuadro 2. *Componentes de color (R, G, B), intensidad y brillo (%) de la testa de granos de lenteja en tres marcas comerciales.*

Marca de lenteja	Color				Brillo (%)
	Rojo	Verde	Azul	Intensidad	
Paisa	151.2 a	115.04 b	94.64 b	120.3 b	48.44 b
Schettino	156.63 b	123.02 c	104.13 c	127.93 c	51.34 c
Verde Valle	150.59 a	108.02 a	88.08 a	115.56 a	46.46 a
Media	152.81	115.36	95.62	121.26	48.75
CV	0.31	0.57	0.87	0.51	0.49
DHS (Tukey=0.05)	0.92	1.3	1.64	1.23	0.47

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta.

El color también puede alterarse durante su obtención con el AID por fallas en la correcta identificación del grano, de manera que el valor pueda aparecer más oscuro cuando, en realidad, corresponde al fondo de la imagen. Del Coco et al. (2022) señalan que, para evitar errores en las dimensiones y el color, se deben descartar semillas mal identificadas. El programa MacGran-IJ presenta restricciones por tamaño y forma de los granos, lo que permitió descartar impurezas, granos partidos o pelados. Esto, en parte, contribuyó al bajo coeficiente de variación observado en todos los casos (Cuadro 2), pero también puede ser por la homogeneidad de las muestras, resultado de los procesos de limpieza y cribado.

Conclusiones

La marca de lenteja Verde Valle presenta granos más grandes, Schettino tiene testa más clara y PAISA muestra mayor número de granos pequeños. El análisis de imágenes digitales permite caracterizar la morfología del grano de lenteja e identificar variaciones en tamaño, peso, forma y color entre marcas comerciales.

Referencias

Choukri, H., El Haddad, N., Aloui, K., Hejjaoui, K., El-Baouchi, A., Smouni, A., Thavarajah, D. Maalouf, F. y Kumar, S. (2022). *Effect of high temperature stress during the reproductive stage on grain yield and nutritional quality of lentil (Lens culinaris Medik).* Frontiers in nutrition, 9. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.857469

de Medeiros, A. D., da Silva, L. J., da Silva, J. M., dos Santos Dias, D., y Pereira, M. D. (2020). *IJCropSeed: An open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs.* Computers and Electronics in Agriculture, 175. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105555

Del Coco, M., Laddomada, B., Romano, G., Carcagnì, P., Kumar, S., y Leo, M. (2022). *Characterization of a collection of colored lentil genetic resources using a novel computer vision approach.* Foods, 11(24). https://doi.org/10.3390/foods11243964

Dutta, H., KM, S., Aski, M., Mishra, G., Sinha, S., Vijay, D., Ct, M., Das, S., Pawar, P., Mishra, D., Singh, A. y Dikshit, H. (2023) *Morpho-biochemical characterization of a RIL population for seed parameters and identification of candidate genes regulating seed size trait in lentil (Lens culinaris Medik).* Front Plant Sci 14. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1091432

Jackson, N., Noble, S. D., y Vandenberg, A. (2021). Evaluating the effect of light exposure and seed coat on lentil cotyledon color by computer vision. Legume Science, 3(4). https://doi.org/10.1002/leg3.98

Kaale, L. D., Siddiq, M., y Hooper, S. (2023). *Lentil (Lens culinaris Medik) as nutrientrich and versatile food legume: A review.* Legume Science, 5(2). https://doi.org/10.1002/leg3.169

Plaza, J., Morales-Corts, M. R., Pérez-Sánchez, R., Revilla, I., y Vivar-Quintana, A. M. (2021). *Morphometric and nutritional characterization of the main Spanish lentil cultivars.* Agriculture, 11(8). https://doi.org/10.3390/agriculture11080741

Reddy, M. S. R., Lal Ahamed, M., y andD Ramesh, D. R. B. (2024). *DUS characterization of lentil (Lens culinaris L.).* The Andhra Agric. J, 71(2), 163-172. https://doi.org/10.61657/aaj.2024.110

Capítulo **36**

Impacto de hongos asociados a enfermedades de la uva (*Vitis vinífera*) y mecanismos de acción de control biológico

Ceballos Chávez Ángel Rosario[1*]
Delgado Domínguez Marvin[2]
Chávez Tiznado Carlos Servando[74]
Rábago Zavala Karen[3]
Chávez García Leidy Erisleida[74]
López Valenzuela Blanca Elvira[76]

[1] Universidad Tecnológica de la Tarahumara- Departamento de Ciencias Ambientales y Agricultura. Carretera Guachochi- Yoquivo, Col Turuseachi, C.P 33180, Guachochi, Chihuahua, Mexico. aceballos@uttarahumara.edu.mx.
[2] Universidad Tecnológica de la Babícora-Departamento de Agricultura Sustentable y Protegida. Carretera Soto Máynez – Gómez Farias, Col. Oscar Soto Máynez, C.P. 31963, Namiquipa, Chihuahua, México.
[3] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Av. Japaraqui y Calle 16 S/N, CP 81110, Juan José Ríos, Sinaloa México.

Resumen

El cultivo de la uva representa grandes retos por su importancia económica al ser un frutal del que se derivan vinos, jugos, mermeladas, vinagre, jalea, pasas; no obstante, en la última década se ha visto afectado por enfermedades fúngicas en la planta que pueden alcanzar hasta un 80 % de pérdidas en su producción, por lo que es imprescindible generar estrategias sustentables para minimizar su impacto. Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad antagónica de cepas de *Epicoccum italicum* y *Trichoderma asperelloides* contra fitopatógenos de suelo extraídos de la rizosfera de uva (*Vitis vinifera*). Para ello, se extrajeron muestras de suelos y se identificaron los géneros *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. y *Phytophthora* spp. Se realizaron confrontaciones in vitro contra T. asperelloides y E. italicum, evaluadas mediante una escala de inhibición de 5 grados. Además, se llevó a cabo la evaluación porcentual de germinación de semilla de cultivos de avena, fresa, frijol, maíz y tubérculo de papa con ambos géneros de hongos, con desinfección previa con concentraciones de hipoclorito de sodio (NaClO) al 0,5, 0,8 y 1 %, evaluados con un diseño completamente al azar (DCA). Como resultado, en las confrontaciones *in vitro* se tuvo un porcentaje mayor en *T. asperellodes*, superando el 90 %, respecto a *E. italicum*, el cual obtuvo el 80 %. Con relación a la concentración más apta para ambos géneros, fue del 0,5 % y el cultivar con mayor porcentaje del bioestimulante fue la semilla de maíz. Se recomienda implementar el control biológico en condiciones de campo.

Introducción

La uva (*Vitis vinifera*) es uno de los cultivos frutícolas más importantes, que produce racimos de bayas redondeadas de diferentes colores y que tiene múltiples usos, como materia prima para la elaboración de vino, mermeladas, zumos, jaleas, extractos de pepitas de uva, pasas, vinagre y aceite de pepitas

de uva. No obstante, se infectan fácilmente con hongos, bacterias e insectos, lo que representa una amenaza significativa para la calidad y el rendimiento, incluyendo la reducción del cuajado, la pérdida de la integridad del fruto y sabores que afectan el sabor y la apariencia de las uvas (Mwaka et al., 2024). De acuerdo a Giralda-Arellano y Barrios-Acosta (2021), las enfermedades fúngicas son una de las principales causas de la pérdida de productividad en cultivos perennes que pueden alcanzar hasta un 80 % de cada cosecha; disminuyen la calidad, incrementan los costos de producción y reducen el vigor y longevidad de los viñedos, existiendo enfermedades causadas por hongos que son endémicas (Giralda-Arellano y Barrios-Acosta, 2021).

Ante el grado de pérdidas económicas, se han propuesto estrategias de control biológico con un enfoque alternativo sostenible y prometedor para combatir los hongos patógenos (Mesguida et al., 2023), y ejercer un alto potencial biocontrol sobre fitopatógenos de suelo, ya que es una técnica altamente sustentable, así como contribuir a la promoción del crecimiento de las plantas (Oliveira et al., 2022). El objetivo es evaluar la capacidad antagónica de los géneros *Epicoccum italicum* y *Trichoderma asperelloides* contra fitopatógenos de suelo extraídos de la rizosfera de uva (*Vitis vinifera*).

Materiales y métodos

Aislamiento: El área de estudio comprendió la zona productora de uva del noroeste del estado de Chihuahua en los municipios de Namiquipa y Bachiniva. Para ello, se realizó un muestreo en cinco de oros de las cuatro parcelas evaluadas, tomando muestras de 15 a 30 cm de profundidad, y se obtuvieron 36 muestras, las mismas que fueron llevadas al laboratorio para su conservación. Después, se preparó una dilución seriada en la que se pesó 1 g de suelo y se suspendió en 9 mL de agua destilada estéril, se agregó un volumen de 0.2 mL de la suspensión, se sembró en placas de Petri en papa-dextrosa-agar (PDA) y se incubaron a 26.4°C durante 7 días en condiciones controladas (Ayala-Quispe, 2019).

Confrontación in vitro: Para evaluar la actividad antagónica de T. *asperelloides* y *E. italicum* sobre *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. y *Phytophthora* spp., se emplearon placas Petri con medio de cultivo PDA y, con ayuda de un sacabocado, se tomaron discos de 5 mm de diámetro con micelio del antagonista-patógeno y se colocaron en los extremos de la placa

Petri a 6.0 cm de separación. Para evaluar, se midió el crecimiento de cada organismo durante seis, siete y nueve días. Los datos obtenidos se transformaron en una escala de capacidad antagónica (Bell et al., 1982), la cual consta de cinco grados: 1) el antagonista cubre totalmente al patógeno, 2) el antagonista cubre las dos terceras partes, 3) el antagonista y el patógeno colonizan la mitad de la superficie del medio, 4) el patógeno coloniza tres cuartas partes de la caja de Petri y 5) el fitopatógeno cubre totalmente la caja de Petri (Chávez et al., 2024).

Medición porcentual de germinación: Se realizaron inoculaciones de T. asperelloides y E. italicum sobre las semillas de avena, fresa, frijol, maíz y tubérculo de papa, previamente desinfectadas, y se les agregó suspensiones de esporas de 15 mL a una concentración de $1x10^6$ con/mL^{-1} al usar tratamientos de inocuidad de hipoclorito de sodio (NaClO) de 0,5, 0,8 y 1 %. Esto mediante la técnica de aspersión de acuerdo a Udhayakumar et al. (2019), donde se usaron atomizadores. Los órganos se mantuvieron en cámara húmeda a 25 °C ± 2, con humedad relativa 85 %, haciendo observaciones cada 12 horas durante 15 días.

Análisis estadístico: Los datos del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PICM) se procesaron mediante la prueba de Aligned Rank Transformation ANOVA con un diseño completamente al azar. Los datos obtenidos para cada uno de los ensayos se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$). Dichos datos se analizaron con el paquete estadístico R versión 2022.

Resultados y discusión

Los análisis de varianza (ANOVA) indicaron que no se presentan diferencias significativas en los tratamientos; no obstante, se obtuvo el 90 % de la capacidad antagónica de *T. asperelloides* contra los tres fitopatógenos, por lo que se tuvo un mayor grado de inhibición contra el patógeno *Phytophthora* spp. con 92,68 % con respecto al testigo. Por otro lado, en la confrontación de E. italicum se mostró el 81,33 % de inhibición contra el género Rhizoctonia spp. con respecto al testigo. Además, estudios por Iqbal et al. (2022) reportan el efecto antagónico de las especies de *T. asperellum* y *viride* sobre *Pythium*, *P. capsici*, *P. infestans* y *F. oxysporum*, los cuales presentaron de 40 a 70 % de inhibición

en aislados de Estados Unidos y de 60 a 70 % en aislados de Pakistán, lo que significa que coinciden con lo realizado en este trabajo.

En cuanto al porcentaje de germinación, en los 3 tratamientos de *T. asperelloides* se obtuvieron porcentajes de germinación de 64 % en las diferentes semillas que fueron tratadas con una solución al 0,5 %. Por otro lado, en el tratamiento de desinfección al 0,8 %, el porcentaje fue de 44 % y en la tercera solución de 1 % mostró un porcentaje de germinación del 64 % (Figura 1). Respecto a *E. italicum*, se obtuvo 54 % en las diferentes semillas que fueron tratadas con una solución 0,5 %; en el caso de 0,8 %, se obtuvo 60 % y en 1 % mostró un porcentaje de 54 % (Figura 2). Estudios reportados por De Souza et al. (2021) confirman las estrategias implementadas en porcentaje de germinación en tres variedades de lechuga evaluadas (mimosa, crespa y cerbiata) con *T. asprellum* y *viride*, en la cual la variedad mimosa obtuvo valores superiores al 50 %. Coincidiendo con los obtenidos en estos estudios, los cuales se centran dentro del rango de germinación en todas las semillas evaluadas, sobresale la de maíz.

Figura 1. *Tratamientos de inocuidad respecto a las semillas tratadas con aspersión de T. asperelloides*

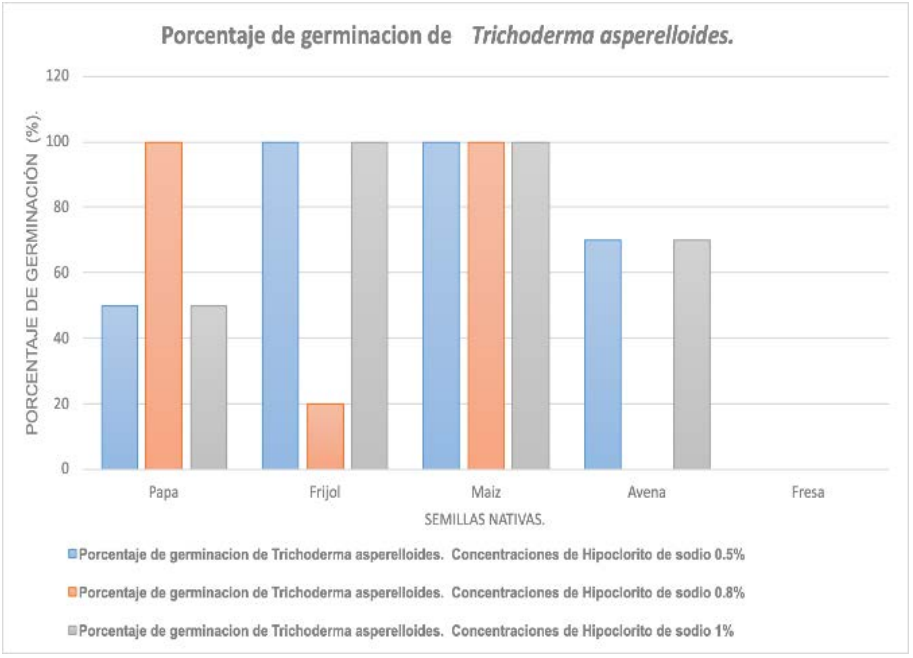
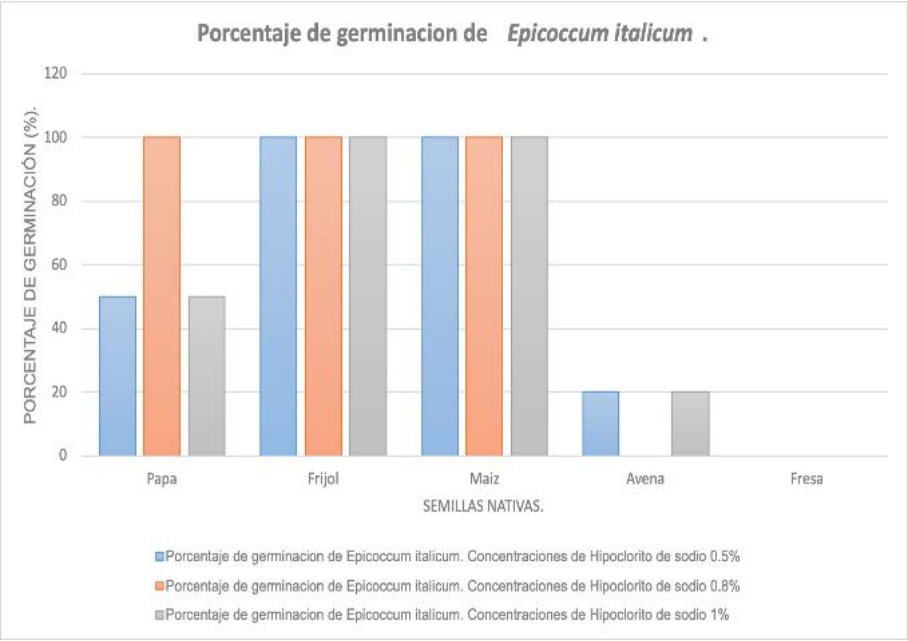


Figura 2. *Tratamientos de inocuidad respecto a las semillas tratadas con aspersión E. italicum*



Conclusiones

En las confrontaciones in vitro se tuvo un porcentaje mayor en *T. asperelloides*, superando el 90 % en sus confrontaciones, respecto a *E. italicum*, el cual obtuvo el 80 % de inhibición, considerando al género *Phytophthora* spp. como el más susceptible a ambos antagonistas.

En cuanto a la evaluación de la germinación de semillas, T. asperelloides mostró una alta eficacia en las concentraciones de hipoclorito de sodio de 0,5 %. En contraste, *E. italicum* se distinguió por mostrar una concentración de hipoclorito del 0,8 %. Además, se consideró la semilla de maíz como la más apta para aplicar bioestimulantes germinativos biológicos por ambos géneros de hongos.

Referencias

Ayala Quispe, E. F. (2019). *Efecto antagónico in vitro de cepas nativas de Trichoderma sp. frente a los hongos fitopatógenos Colletotrichum sp. y Fusarium sp. Ayacucho*, 2018. https://repositorio.unsch.edu.pe/items/cb6233fb-d17f-4e05-9651-dfcdcb28ff29

Bell, D. K., Well, H. D., and Markham, C. R. (1982). *In vitro Antagonism of Trichoderma species against Six Fungal Plant Pathogens.* Phytopathology, 72, 379-382. https://doi.org/10.1094 / Phyto-72-379

Chávez, A. C., Valenzuela, B. L., Escoboza, F. V., Armenta, Q. A., Holguin, R., y Luján, H. M. (2024). *Identificación y evaluación antagónica in vitro de cepas de Trichoderma spp. nativas contra patógenos del duraznero.* Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 26, 109-120. https://doi.org/10.22179/revmacn.26.833

De Souza, R. R., Moraes, M. P., Paraginski, J. A., Moreira, T. F., Bittencourt, K. C., y Toebe, M. (2021). *Effects of Trichoderma asperellum on germination indexes and seedling parameters of lettuce cultivars*. Current Microbiology, 79(1). https://doi.org/10.1007/s00284-021-02713-4

Giralda-Arellano, M., y Barrios-Acosta, D. (2021). *Use of native yeasts as biocontrol agents for phytopathogenic fungi in grapes (Vitis vinifera subsp. vinifera L.).* Multidisciplinary yAmp; Health Education Journal, 3(1), 85–91. https://journalmhe.org/ojs3/index.php/jmhe/article/view/17

Iqbal, S., Ashfaq, M., Malik, A. H., Haq, M. I., y Khan, K. S. (2022). *Antagonistic screening and confronting potential of Trichoderma viride against Pakistani and American soil borne-pathogens (Pythium aphenidermatum, Fusarium oxysporum and Phytophthora capsici) in controlled conditions.* Pakistan Journal Of Phytopathology, 34(1), 81-91. https://doi.org/10.33866/phytopathol.034.01.0752

Mesguida, O., Haidar, R., Yacoub, A., Dreux-Zigha, A., Berthon, J., Guyoneaud, R., Attard, E., y Rey, P. (2023). *Microbial biological control of fungi associated with grapevine trunk diseases:* A review of strain diversity, modes of action, and advantages and limits of current strategies. Journal Of Fungi, 9(6). https://doi.org/10.3390/jof9060638

Mwaka, O., Mwamahonje, A., Nene, W., Rweyemamu, E., y Maseta, Z. (2024). *Pesticides use and its effects on grape production*: A review. Sustainable Environment, 10(1). https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2366555

Oliveira, R. S., Chagas, L. F. B., Martins, A. L. L., Souza, M. C., Luz, L. L., Gomes, F. L. y Chagas Junior, A. F. (2022). *Trichoderma in the phytopathogenic biocontrol*. Bulg. J. Agric. Sci., 28(4), 717–724 https://www.agrojournal.org/28/04-18.pdf

Udhayakumar, R., S., Usharani and A. Muthukumar.(2019). *Pathogenicity variation, morphological and cultural characteristic of Colletotrichum gloeosporioides isolates*. Plant Archives 19(1), 425-430. http://www.plantarchives.org/PDF %2019-1/425-430 %20(4604).pdf

Capítulo **37**

Impacto económico del aprovechamiento parcial de sesbania como forraje en un sistema de conservación en trigo

Espinoza Alonso Juan Angel[1]
Montiel Batalla Blanca Margarita[77]
Avendaño Ruíz Belem Dolores[2]
Sierra López Olga Alejandra[78]
Aguilar Quiñones José Antonio[3]
Gastelum Delgado Miguel Angel[79]
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe[77]
Galicia Juárez Marisol[77]

[1] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León, Baja California, México. C.P. 217051 juan.espinoza.alonso@uabc.edu.mx.
[2] Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Economía y Relaciones Exteriores. Calzada Universidad 14418, Parque Industrial Internacional Tijuana, Tijuana, B.C., 22427.
[3] Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-El Dorado km. 17.5 Culiacán, Sinaloa, México.

Resumen

La baja rentabilidad del cultivo de trigo en el Valle de Mexicali ha generado la necesidad de adoptar estrategias productivas más sostenibles y económicamente viables. Este estudio evaluó el impacto económico de un sistema de agricultura de conservación que incorpora Sesbania spp. como cultivo de cobertura, aprovechando el 70 % de su biomasa aérea como forraje. Bajo condiciones reales de producción, se analizaron dos variedades de trigo (CIANO y DON LUPE), estimando ingresos por grano y por biomasa forrajera, simulada como pacas de avena. Se empleó un enfoque de presupuestos parciales para comparar ingresos, costos y rentabilidad frente a un sistema tradicional. Aunque el sistema conservacionista presentó costos más altos, el ingreso adicional por el forraje permitió compensarlos, generando relaciones beneficio/costo (B/C) de hasta 1.55, superiores a las del sistema tradicional. Estos resultados indican que el uso parcial de sesbania como forraje no solo mejora la rentabilidad, sino que también fortalece la resiliencia económica del sistema agrícola y representa una alternativa útil para diversificar ingresos.

Introducción

El Valle de Mexicali es una región estratégica de México, destacando por cultivos como algodón, alfalfa, maíz, hortalizas y, particularmente, trigo (Brajcich Gallegos et al., 2015). Aunque este cereal ha sido clave por su volumen de producción y aporte a la seguridad alimentaria, su superficie sembrada se redujo de 47 487 hectáreas en 2021 a solo 30 600 hectáreas en 2024 (Avendaño-Ruiz et al., 2010; SIAP, 2025). A pesar de que el rendimiento en la región alcanza las 6.2 t ha^{-1}, superando la media nacional (SADER, 2024), los márgenes de ganancia son mínimos; con un ingreso bruto estimado en $37 100 MXN por hectárea y una ganancia marginal de solo $431 MXN, sin considerar el arrendamiento de tierras, muchos productores enfrentan pérdidas.

Ante esta situación, se requieren estrategias que aumenten la rentabilidad sin comprometer la sustentabilidad. La agricultura de conservación (AC) y el uso de cultivos como *Sesbania* spp., una leguminosa adaptada a zonas cálidas y tolerante a suelos de baja fertilidad, destaca por su rápido crecimiento, alta producción de biomasa y capacidad de fijación biológica de nitrógeno, por lo que ha sido considerada como cultivo de cobertura con potencial forrajero (Bunma y Balslev, 2019; Espinoza-Alonso et al., 2023, 2024; Karmakar et al., 2016; Miller, 1996).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la rentabilidad económica de un sistema conservacionista trigo-*sesbania* bajo condiciones de aprovechamiento del 70 % de la biomasa de sesbania como forraje, simulando su comercialización con pacas de avena forrajera.

Materiales y métodos

Área de estudio: El estudio se realizó con base en datos experimentales obtenidos en el Valle de Mexicali, Baja California, México, una región de clima árido cálido, con temperaturas extremas superiores a los 40 °C en verano y escasas precipitaciones anuales (< 100 mm).

Recopilación de la información: El sistema evaluado consistió en una plataforma de investigación en la que se estableció el cultivo de trigo tanto cristalino (variedad Don Lupe) como harinero (variedad Ciano), bajo un esquema de agricultura de conservación, con incorporación de un cultivo de cobertura de *Sesbania* spp. posterior al ciclo de trigo. El ciclo de la plataforma inició en diciembre de 2022 y terminó en mayo de 2024. La estimación contempló el aprovechamiento del 70 % de la biomasa aérea de Sesbania. Las labores y costos se ajustaron a condiciones reales reportadas por productores de la región y fuentes oficiales como FIRA y SADER.

Análisis económico: Se empleó una metodología de presupuestos parciales, basada en un conjunto de ideas y datos con resultados viables, utilizando la metodología deductiva e inductiva de Yépez et al. (2022), ajustada a los mercados agrícolas mexicanos y de sistemas conservacionistas (Lorenzetti y Fiorini, 2024; Magar et al., 2022; Prasad y Zhang So, 2022; Saldivia-Tejeda et al., 2024), para estimar la rentabilidad del sistema productivo trigo-*sesbania*. Lo cual sería bajo las siguientes variables:

- **Ingresos brutos:** simulados en función del precio de venta de trigo y de las pacas de avena (forraje) para el año 2023.
- **Costos de producción:** Considerados para ambas etapas del ciclo (trigo y sesbania), incluyendo semillas, fertilizantes, mano de obra, maquinaria, agua de riego, empaque y demás insumos utilizados.
- **Indicador económico:** Se estimó la relación beneficio/costo (B/C) utilizando los costos dentro de los siguientes conceptos: "Rendimiento, Precio ton-1, costos totales (CT), Ingresos (trigo), Ingresos (sesbania)".

Los cálculos fueron realizados para el escenario específico del 70 % de aprovechamiento de la biomasa forrajera, y no incluyeron comparaciones estadísticas con otros porcentajes o ciclos, reservados para futuros análisis científicos.

Resultados y discusión

El análisis económico comparativo entre la agricultura tradicional (AT) y la de conservación (AC) con aprovechamiento del 70 % de Sesbania mostró diferencias marcadas en costos, ingresos y rendimientos para las variedades de trigo CIANO y DON LUPE. El sistema AC–70 % presentó mayores costos ($55 519 vs. $34 020 MXN ha^{-1}), debido al manejo del cultivo de cobertura y la cosecha parcial de biomasa. Sin embargo, estudios como el de Saldivia-Tejeda et al. (2024) destacan que, aunque los sistemas conservacionistas pueden tener costos variables, sus ganancias netas son consistentemente superiores, evidenciando una mayor rentabilidad respecto al monocultivo tradicional.

El sistema conservacionista generó mayores ingresos brutos por grano en ambas variedades de trigo (CIANO y DON LUPE), atribuibles a ligeras mejoras en el rendimiento posiblemente vinculadas a los beneficios edáficos de *Sesbania* spp. A diferencia del estudio de Lorenzetti y Fiorini (2024) centrado en el secuestro de carbono con cultivos de cobertura sin aprovechamiento comercial, este trabajo incorpora el valor económico de la biomasa, lo que sugiere que dicha estrategia puede incrementar aún más la rentabilidad de los sistemas conservacionistas en comparación con los tradicionales hasta en un 23 %.

Además del ingreso por grano, el sistema AC–70 % incorporó un valor adicional al aprovechar el 70 % de la biomasa aérea de Sesbania como forraje (Cuadro 1), generando ingresos estimados de $30 100 MXN. Esto permitió compensar los mayores costos del sistema y mejorar significativamente la rentabilidad. Los ingresos totales oscilaron entre $70 958 y $86 036 MXN, frente a $39 120–$48 868 en el sistema tradicional. La relación beneficio/costo fue superior en AC (1.28 a 1.55) en comparación con la tradicional (1.15 a 1.44), lo que indica un margen de ganancia adicional de 28 a 55 centavos por cada peso invertido.

Cuadro 1. *Indicadores productivos y económicos entre AT y AC con aprovechamiento del 70 % de Sesbania spp. como forraje, en variedades de trigo en el Valle de Mexicali.*

	AT		AC – 70 %	
Variedades	**CIANO**	**DON LUPE**	**CIANO**	**DON LUPE**
Rendimiento (T ha^{-1})	6.52	6.43	6.59	7.36
$ ha^{-1}	$ 6200.00	$ 7600.00	$ 6200.00	$ 7600.00
CT ($ ha^{-1})	$ 34 020.04	$ 34 020.04	$ 55 519.33	$ 55 519.33
Ingresos (trigo)	$ 39 120.00	$ 48 868.00	$ 40 858.00	$ 55 936.00
Ingresos (sesbania)	-	-	$ 30 100.00	$ 30 100.00
RBC	1.15	1.44	1.28	1.55

Estos resultados sugieren que la incorporación de cultivos de cobertura forrajera como Sesbania spp. en sistemas de agricultura de conservación representa una estrategia sustentable en el Valle de Mexicali, donde la diversificación de ingresos es fundamental frente a los precios bajos del trigo y la limitada oferta de apoyos gubernamentales.

Cabe destacar que los resultados presentados corresponden a una simulación puntual del aprovechamiento del 70 % de la biomasa forrajera, y no contemplan otros escenarios de aprovechamiento. Asimismo, la presente evaluación no incluye variables sociales, de adopción o climáticas, por lo que su interpretación debe centrarse en su valor técnico-económico preliminar.

Conclusiones

El aprovechamiento forrajero de la biomasa de Sesbania spp. en esquemas de agricultura de conservación fortalece la viabilidad económica del sistema al mejorar la rentabilidad y ofrecer una fuente adicional de ingreso,

reduciendo la dependencia del grano de trigo. En regiones áridas como el Valle de Mexicali, esta estrategia mejora la resiliencia del productor ante la baja rentabilidad, el clima variable y la escasez de apoyos. En México, los estudios sobre impactos socioeconómicos de estas prácticas son limitados, por lo que este trabajo aporta bases para orientar su adopción tecnológica y el diseño de políticas públicas.

Referencias

Avendaño-Ruiz, B., Acosta-Martínez, A., y Varela-Llamas, R. (2010). *El trigo en Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California. (1). Editorial Miguel Angel Porrúa.

Brajcich Gallegos, P., Cornejo Oviedo, E., Govaerts, B., Moncada de la fuente, J., Barrales Dominguez, S., Ornelas Ruiz, P., Obando Rodríguez, R., Galo Medina, J., Aguirre Elizondo, R., Reyes Muro, L., Ortíz Trejo, C., Vargas Mir, S., González Salamanca, M., Rodríguez Díaz, V., Mendoza Ruiz, C., Sánchez Galván, B., De la Vega García, P., y Medina Montaño, F. (2015). *Agenda técnicia agrícola Baja California*. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?//=AT

Bunma, S., y Balslev, H. (2019). A *Review of the Economic Botany of Sesbania (Leguminosae)*. The Botanical Review, 85(3), 185–251. https://doi.org/10.1007/s12229-019-09205-y

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Cervantes-Díaz, L., Soto-Ortíz, R., Quisitán-Martínez, D., y Catañeda-Trujano, F. (2023). *Cuantificación de nódulos en Sesbania grandiflora*. En XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso. 516–519. Universidad Autónoma de Baja California. https://drive.google.com/file/d/16pFkZ0cmMHShBDD_09C11aT48_MRkQJA/view

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Soto-Ortiz, R., Ail-Catzim, C. E., Montiel Batalla, B. M., y Quisitán-Martínez, D. (2024). P*roducción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura deconservación*. En R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, y A. Vázquez-Espinoza (Eds.), Producción agrícola sustentable:estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria 1, 13–21. Astra Editorial. https://www.researchgate.net/publication/390438727_Produccion_de_biomasa_de_cultivos_de_cobertura_en_plataforma_

de_agricultura_de_conservacion

Karmakar, P., Singh, V., Yadava, R. B., Singh, D. B., Singh, R., y Kushwaha, M. (2016). *Agathi [Sesbania grandiflora L. (Agast)]: Current Status of Production*, Protection and Genetic Improvement.

Lorenzetti, L. A., y Fiorini, A. (2024). *Conservation Agriculture Impacts on Economic Profitability and Environmental Performance of Agroecosystems*. Environmental Management, 73(3), 532–545. https://doi.org/10.1007/s00267-023-01874-1

Magar, S. T., Timsina, J., Devkota, K. P., Weili, L., y Rajbhandari, N. (2022). *Conservation agriculture for increasing productivity, profitability and water productivity in rice-wheat system of the Eastern Gangetic Plain*. Environmental Challenges, 7, 100468. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100468

Miller, P. R. (1996). C*ultivos de Cobertura Para la Agricultura de California*. Universidad de California, Division de Agricultura y Recursos Naturales. https://books.google.es/books?id=Eu-wBWrFWFwC

Prasad R., y Zhang So. (2022). *Beneficial Microorganisms in Agriculture* (R. Prasad y S.-H. Zhang (eds.)). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3

SADER. (2024). *Buscan autoridades y productores alternativas para el nuevo ciclo triguero en el Valle de Mexicali*. https://www.gob.mx/agricultura/bajacalifornia/articulos/buscan-autoridades-y-productores-alternativas-para-el-nuevo-ciclo-triguero-en-el-valle-de-mexicali

Saldivia-Tejeda, A., Uribe-Guerrero, M. Á., Rojas-Cruz, J. M., Guera, O. G. M., Verhulst, N., y Fonteyne, S. (2024). *Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands*. Scientific Reports, 14(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-024-80928-8

SIAP. (2025). *Avance de siembras y cosechas*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Yépez, M., Cedeño, A., y Mera, C. (2022). *Rentabilidad económica empresarial, análisis de costos caso Martagua S.A., Montecristi Ecuador*. Polo del conocimiento, 7(2550-682X), 1806–1825. https://doi.org/10.23857/pc.v7i7

Capítulo **38**

Comparación de dos métodos de medición de NDVI para predecir el estado fisiológico del girasol forrajero en el Valle del Yaqui

García Bolívar Elco Humberto[1]
Galicia Juárez Marisol[80*]
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe[80]
Ochoa Espinoza Xochilt Militza[2]
Brígido Morales Juan Gabriel[80]
García Mendúvil Helio Adán[81]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera. Delta Oaxaca s/n C.P. 21705. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. *Correo de correspondencia: marisol.galicia.juarez@uabc.edu.mx.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Norman E. Borlaug. km. 12. Ciudad Obregón, Sonora, México.

Resumen

La estimación de parámetros productivos en forrajes mediante métodos tradicionales implica procedimientos destructivos, costosos y laboriosos. Por ello, resulta necesario implementar técnicas no invasivas que permitan obtener información confiable de manera eficiente. El objetivo del presente estudio fue comparar el desempeño de dos métodos de obtención del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en girasol forrajero (*Helianthus annuus* L., var. Girafor): un sensor portátil Greenseeker® y un vehículo aéreo no tripulado (VANT) con sensor multiespectral. El experimento se realizó en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), Valle del Yaqui, Sonora, durante el ciclo otoño–invierno 2024–2025, bajo un diseño completamente al azar con medias repetidas. Las mediciones con Greenseeker® se realizaron a pie, mientras que el VANT (DJI Mavic 3 Enterprise®) ejecutó vuelos a 30 m de altura, con procesamiento de imágenes en Pix4Dfields para generar ortomosaicos y mapas de NDVI. En ambos casos, las mediciones se realizaron a los 60 y 86 días después de la siembra (DDS). El Greenseeker® registró valores de NDVI de 0.7693 a los 60 DDS y 0.5633 a los 86 DDS; mientras el VANT reportó valores de 0.7601 y 0.6378, respectivamente. Ambos métodos mostraron resultados similares a los 60 DDS (sin diferencias significativas, $p > 0.05$); sin embargo, a los 86 DDS el VANT registró valores significativamente superiores ($P < 0.05$). La disminución del NDVI entre ambas fechas fue del 16 % con el VANT y del 27 % con el Greenseeker®, lo que sugiere diferencias en la sensibilidad espacial entre los sistemas de medición.

Introducción

Las prácticas tradicionales para estimar la producción o los valores bromatológicos de los forrajes requieren un esfuerzo considerable y pueden implicar costos elevados para el productor, ya que suelen basarse en métodos

destructivos que demandan tiempo y recursos (Botello, 2018). Ante esta limitación, es necesario usar técnicas no destructivas que brinden información confiable de manera eficiente. Las plantas reflejan mucha energía en el infrarrojo cercano por su estructura interna, lo que permite estimar su estado mediante teledetección (Govaerts y Verhulst, 2010). El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), ampliamente empleado en agricultura de precisión, predice el estado fisiológico de los cultivos con eficacia y se calcula como NIR-Red/NIR+Red (Mogili y Deepak, 2018). Entre sus principales aplicaciones se encuentran la diferenciación entre tipos de vegetación (bosques, cultivos, pastizales) y la evaluación de salud y estrés vegetal (Huang et al., 2021). El GreenSeeker® Handheld es un sensor portátil que cuantifica la reflectancia en las bandas roja e infrarrojo cercano, permitiendo estimar el NDVI y relacionarlo con la actividad fotosintética (Velasco-López et al., 2020). Las imágenes de VANT requieren procesamiento especializado para obtener ortofotos, modelos digitales de elevación y mapas de índices vegetativos. Programas como WebODM o Pix4D facilitan la fotogrametría y, en el caso de Pix4D, permiten mejoras radiométricas para mayor precisión. El NDVI, con valores cercanos a 1, señala vegetación sana; cerca de 0 indica vegetación seca o suelo desnudo. Un NDVI sobre 0.49 identifica parcelas saludables; entre 0.21 y 0.39, muestra estrés nutricional o baja densidad; por debajo de 0.21, señala escasa cobertura vegetal. Estos datos favorecen la detección temprana de problemas agrícolas y mejoran la gestión de cultivos (Kharuf-Gutierrez et al., 2018). El presente estudio responde a la necesidad de implementar herramientas de agricultura de precisión para el manejo eficiente de cultivos forrajeros en regiones áridas. El objetivo fue comparar la capacidad de dos métodos de estimación de NDVI para predecir el estado fisiológico del girasol forrajero en sus diferentes etapas fenológicas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), en el Valle del Yaqui, Sonora, México (27°22'05"N; 109°55'52"O; 1150 m s. n. m.), utilizando girasol forrajero (Helianthus annuus L., var. Girafor) en suelos de textura franco-arcillosa y profundi-

dad considerable. El estudio correspondió al ciclo agrícola otoño-invierno 2024-2025 y utilizó un diseño completamente al azar con medias repetidas. La preparación del terreno incluyó arado, doble rastreo y nivelación con escrepa, con el propósito de uniformizar la emergencia del cultivo. La siembra, efectuada en seco el 26 de noviembre de 2024, se realizó mediante una sembradora de precisión Monosem®. Las parcelas experimentales consistieron en cuatro surcos de 45 m de longitud y 0.80 m de separación, con tres repeticiones; el análisis consideró como parcelas útiles los dos surcos centrales, delimitando una unidad de muestreo de 8 m lineales por 0.80 m de ancho. La fertilización de presiembra fue 120-60-00 (N-P-K), equivalente a 50 kg N ha^{-1} (urea al 46 %) y 80 kg P2O5 ha^{-1} (fosfato monoamónico), aplicación dirigida a cubrir las necesidades nutricionales iniciales del cultivo. El monitoreo de NDVI en cultivo de girasol forrajero se realizó mediante dos métodos complementarios:

Sensor portátil Greenseeker®: Se realizaron las mediciones a pie, a lo largo del costado de los surcos, manteniendo una distancia aproximada de 1 m del follaje, a los 60 y 86 días después de la siembra (DDS).

Vehículo aéreo no tripulado (VANT): Se utilizó un modelo DJI Mavic 3 Enterprise®, programado mediante el software DJI Pilot 2 en modo fotogramétrico automatizado (misión en cuadrícula/waypoints). El vuelo se realizó a 30 m de altura, con un GSD de 0.861 cm/píxel, asegurando la cobertura total de la parcela sin intervención manual. Las imágenes se capturaron entre las 12:30 y las 14:00 h, cuando la radiación solar es máxima y favorece la fotosíntesis.

Se procesaron mediante el software Pix4Dfields para obtener ortomosaicos y mapas NDVI, identificando zonas de variabilidad espacial en el cultivo según su etapa fenológica. Las mediciones de campo se realizaron en cinco sitios aleatorios de los surcos centrales. Se correlacionaron las lecturas del Greenseeker® con los datos integrados del VANT para mejorar la precisión. El análisis de datos se llevó a cabo en JMP Statistical Discovery LLC (JMP, 2025).

Resultados y discusión

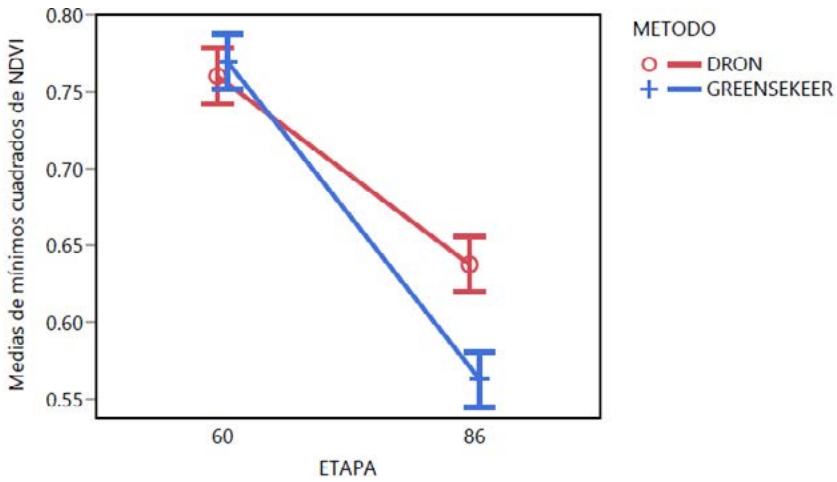
El Greenseeker® registró un valor promedio de 0.7693 a los 60 DDS y 0.5633 a los 86 DDS, mientras que el VANT reportó valores de 0.7601 a los 60 DDS y 0.6378 a los 86 DDS. A los 60 DDS, ambos métodos mostraron resultados muy similares (0.0091 de diferencia) sin diferencias significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, a los 86 DDS, el VANT registró valores significativamente superiores al Greenseeker® ($p < 0.05$), como se muestra en el Cuadro 1. Issaly (2024) indica que el girasol presenta bajos valores de NDVI en etapas tempranas, aumentando hasta un máximo de 0.65-0.75 durante la fase reproductiva R3-R4, cuando la cobertura foliar es densa. Estos resultados coinciden con los de este estudio, donde el NDVI disminuyó entre los 60 y 86 DDS. Los valores reflejan las etapas fenológicas; la reducción del NDVI se asocia al inicio de la senescencia foliar conforme madura el cultivo (Kharuf-Gutierrez, et al., 2018). El bajo error estándar (0.0091) respalda la fiabilidad de las estimaciones. A los 60 DDS, ambos métodos son equivalentes, como lo muestra el Cuadro 1. Sin embargo, el VANT muestra menor sensibilidad que el Greenseeker® debido a su integración espacial, mientras que el sensor portátil detecta cambios fisiológicos más sutiles, lo que resulta en una mayor reducción de NDVI hacia los 86 días. Esto confirma que los sensores portátiles son más sensibles a variaciones locales, mientras que los VANT ofrecen una visión integrada a nivel de parcela (Dos Santos et al., 2023).

Cuadro 1. *Prueba HSD de Tukey de las diferencias de medias de mínimos cuadrados*

Nivel	**Media de mínimos cuadrados (valores de reflectancia entre 0 y 1)**	**Error estándar**
VANT, 60 DDS	0.7601[a]	0.0090
VANT, 85 DDS	0.6378[b]	0.0090
GREENSEEKER 60 DDS	0.7693[a]	0.0090
GREENSEEKER 85 DDS	0.5633[c]	0.0090

*Los niveles con diferente letra son significativamente distintos. $\alpha = 0.050$ $Q = 2.60667$

Figura 1. *Gráfico de las medias de mínimos cuadrados.*



Conclusiones

El uso del Greenseeker® y del VANT demostró ser eficaz para monitorear el NDVI en girasol forrajero en el Valle del Yaqui. Ambos métodos detectaron la disminución del índice con el avance fenológico, asociado al inicio de la senescencia. El Greenseeker® mostró mayor sensibilidad a cambios fisiológicos puntuales, mientras que el VANT proporcionó estimaciones más consistentes y representativas a escala de parcela. El uso de estas herramientas ofrece una estrategia confiable para el monitoreo y manejo optimizado de sistemas forrajeros en agricultura de precisión bajo condiciones áridas.

Referencias

Botello Aguillón, C. (2018). *Estimación de biomasa aérea de forrajes de invierno bajo riego a través de un dron* (Master's thesis).

Dos Santos Felipetto, H., Mercante, E., y Viana, O. H. (2023). *Desempenho de um vant na determinação de índices de vegetação por diferença normalizada–NDVI na cultura de Crambe (Abyssinica Hochst)*. Observatorio de la economía latinoamericana, 21(10), 16259-16272.

Govaerts, B., y Verhulst, N. (2010). *The normalized difference vegetation index*

(NDVI) greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A-concepts and case studies.

Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., y Shao, G. (2021). *A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing.* Journal of forestry research, 32(1), 1-6.

Issaly, J. (2024). *Seguimiento de los puntos críticos del cultivo de girasol para producción de semillas híbridas*.

Kharuf-Gutierrez, S., Hernández-Santana, L., Orozco-Morales, R., Aday Díaz, O. D. L. C., y Delgado Mora, I. (2018). *Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados.* Ingeniería electrónica, automática y comunicaciones, 39(2), 79-91.

Mogili, U. R., y Deepak, B. B. V. L. (2018). *Review on application of drone systems in precision agriculture.* Procedia Computer Science, 133, 502–509. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063

Velasco-López, J. L., Roberto, S. O., Ail-Catzim, C., Grimaldo-Juárez, O., Avilés-Marín, S. M., y Lozano-del Río, A. J. (2020). *Relación de índices fotográficos y NDVI con la producción de biomasa seca en triticale en el valle de Mexicali.* Agro Productividad, 13(1).

Capítulo **39**

Fuerza de adhesión de las plántulas de jitomate para su recolección en el trasplante automático

Grande Gaudencio[1]
Hidalgo Reyes Martín[2]
Cruz Pedro[83]
Velázquez López Noé[3]

[1] Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, Estado de México, México; gaussgam@gmail.com.
[2] Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, Estado de México, México.
[3] Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, Estado de México, México.

Resumen

La automatización del trasplante de plántulas de jitomate representa un desafío técnico crítico, particularmente durante la etapa de extracción automática, en la cual es fundamental determinar la fuerza de adhesión (AF) óptima que permita extraer las plántulas sin comprometer su integridad estructural. Un manejo inadecuado en esta fase puede inducir daños mecánicos, reduciendo tanto la eficiencia operativa como la tasa de éxito del trasplante. El objetivo de este estudio fue cuantificar la AF de las plántulas de jitomate en tres variedades híbridas —Natalie (H1), CID (H2) y Gavilán (H3)— cultivadas en el centro de México. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente aleatorizado, y las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las AF promedio observadas fueron 4.606 N para H1, 7.470 N para H2 y 3.815 N para H3. Los hallazgos de este estudio aportan información crítica para el desarrollo de soluciones tecnológicas destinadas a la automatización del trasplante de plántulas (diseño, calibración y control de los mecanismos de extracción), contribuyendo así a incrementar la productividad y sostenibilidad en la producción de jitomate bajo condiciones de cultivo controladas.

Introducción

El trasplante de hortalizas puede realizarse mediante métodos manuales, así como con el uso de trasplantadoras semiautomáticas o totalmente automáticas (Nage et al., 2023). En particular, el trasplante automático combina prácticas tradicionales, basadas en tareas manuales que requieren habilidades específicas para evitar daños en las plántulas, con innovaciones tecnológicas como sensores de visión y efectores finales. Su propósito es optimizar uno de los procesos más delicados y laboriosos del cultivo de hortalizas, garantizando precisión y estabilidad en cada etapa de su ejecución (Ahmed et al., 2024; Cheng et al., 2023).

Dentro del trasplante automático de hortalizas, se pueden identificar tres sistemas principales: recolección, transporte y trasplante (Jin et al., 2018; Nage et al., 2023). Entre ellos, el sistema de recolección es el componente que marca una diferencia funcional significativa. En el caso de las plántulas, este aspecto lo distingue de un sistema totalmente automático, ya que constituye una de las fases más críticas del proceso. Una recolección inadecuada puede ocasionar pérdidas considerables; por ello, el diseño del mecanismo debe contemplar factores como el procesamiento visual y la interacción físico-mecánica entre el cepellón y la cavidad de la charola germinadora, en particular la fuerza de adhesión (Jin et al., 2021; Wang et al., 2024; Zhou et al., 2024).

Para el diseño del mecanismo de extracción es necesario estudiar la fuerza de adhesión (AF) que mantiene a las plántulas en sus cavidades, con el fin de determinar y optimizar la magnitud de la fuerza requerida para la extracción de su cavidad. Diversos estudios han abordado esta propiedad mecánica en distintas especies de hortalizas. Por ejemplo, Han et al. (2023), Jin et al. (2018) y Magar et al. (2023) realizaron ensayos específicos en plántulas de jitomate, mientras que Han et al. (2024) extendió la evaluación a plántulas de otras especies (pepino, pimiento morrón y coliflor).

A pesar de su relevancia, la cuantificación de la fuerza de adhesión ha sido escasamente abordada en estudios orientados al desarrollo de sistemas automáticos para el trasplante de hortalizas, especialmente en el caso de variedades comerciales que se cultivan en México. En este contexto, el objetivo de este trabajo de investigación fue determinar la AF en plántulas de jitomate pertenecientes a tres híbridos F1 cultivados en el centro de México, con el fin de generar información técnica que sirva como base para la optimización del diseño y calibración de mecanismos automatizados de recolección.

Materiales y métodos

Se utilizaron tres variedades de semillas de jitomate de los híbridos F1: Natalie (H1), CID (H2) y Gavilán (H3). Las semillas fueron sembradas durante los meses de julio y agosto de 2024, en Texcoco de Mora, Estado de México (19.5060° N, 98.8832° W). Las semillas fueron sembradas a una profundidad de 10 mm en el sustrato, en tres charolas germinadoras de poliestireno

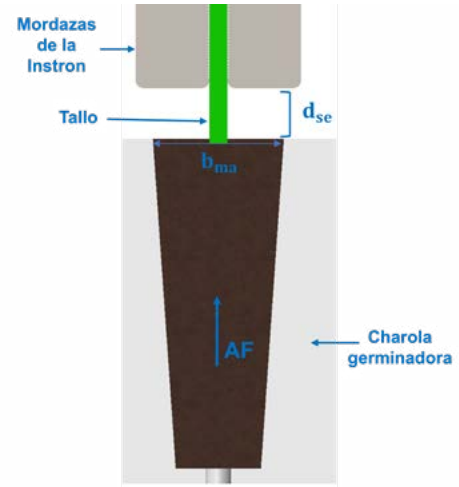
blanco (marca Frigocel®) con dimensiones de 664 x 335 x 67 mm con 200 cavidades cónicas de 31 x 31 mm y 5 mm de drenaje. El sustrato estuvo compuesto de Peat Moss Sunshine al 80 %, 10 % de agrolita y 10 % de vermiculita grado medio. Las plántulas se mantuvieron en condiciones de temperatura y humedad relativa a 25 °C y 90 %, respectivamente.

La evaluación de la fuerza de adhesión de las plántulas (AF) se realizó siguiendo la metodología descrita por Magar et al. (2023). La extracción de plántulas de las charolas germinadoras se llevó a cabo mediante pruebas en una máquina Instron (modelo 3382, Norwood, MA, EUA). Las pruebas se efectuaron a una velocidad constante de carga de 100 mm * min^{-1} con una sensibilidad del 40 %; las plántulas fueron sujetadas cuidadosamente por el tallo, a una distancia d_{se} = 10 mm por encima de la base mayor del cepellón (b_{ma}) (Figura 1).

Previamente, se recortaron cavidades completas que incluían la plántula y el sustrato de las charolas de germinación, seleccionadas de manera aleatoria, utilizando un cortador cutter de 9 mm de ancho. Para garantizar la estabilidad de la muestra y evitar la necesidad de dispositivos adicionales que pudieran generar alteraciones en la adquisición de datos de fuerza, las cavidades se fijaron con cinta adhesiva de 12 mm.

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente aleatorizado. Para evaluar la AF se tomaron 50 unidades experimentales por híbrido, y el tamaño muestral fue determinado mediante un análisis de potencia a priori (f de Cohen = 0.3, potencia = 90 %, $\alpha = 0.05$). Los datos se analizaron mediante un ANOVA, seguido de pruebas post hoc con el método Tukey HSD para identificar diferencias significativas entre tratamientos. El análisis estadístico y la representación gráfica de los resultados se realizaron en RStudio (versión 2024.09.1).

Figura 1. *Diagrama para la determinación de la fuerza de adhesión de plántulas de jitomate.*



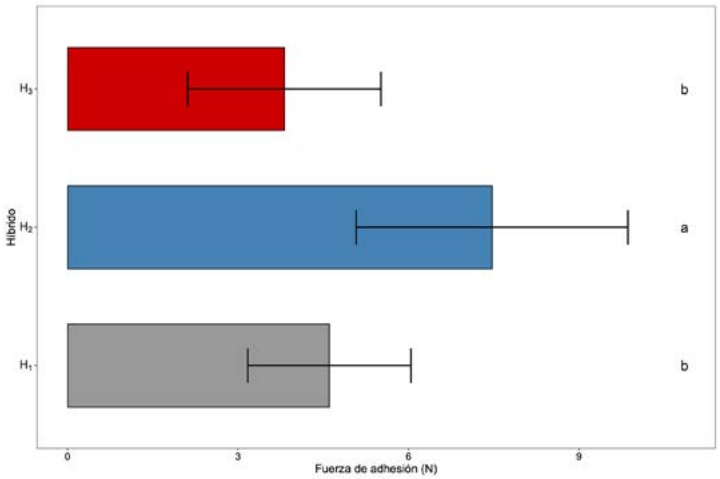
Resultados y discusión

La Figura 2 muestra los valores promedio de la AF requerida para extraer las plántulas de jitomate. Las AF mínimas fueron 1.698 N (H1), 2.841 N (H2) y 0.978 N (H3), mientras que las máximas alcanzaron 8.571 N, 13.178 N y 11.443 N, respectivamente. Estos resultados se sitúan dentro del rango reportado en estudios previos, como el de Ji et al. (2024), quienes encontraron una AF de 5.724 N en plántulas de tomate de 30 días. No obstante, algunos estudios en plántulas de jitomate reportan valores inferiores a los encontrados en este estudio; por ejemplo, Han et al. (2023) registraron 2.19 N para plántulas de 38 días, Magar et al. (2023) informaron 1.43 N en ejemplares de 30 días y Jin et al. (2018) reportaron 2.7 N en plántulas de 40 días. Asimismo, Han et al. (2024) evaluaron plántulas de otras especies, con valores de 1.89 N en pepino, 2.06 N en pimiento morrón y 1.87 N en coliflor.

Los valores superiores de AF observados en este estudio, en comparación con lo reportado en la literatura, pueden explicarse por la influencia de factores intrínsecos y extrínsecos, como: 1) la composición y propiedades físicas del sustrato (densidad, compactación y conductividad térmica); 2) las características estructurales de las charolas germinadoras (rugosidad y rigidez del material); y 3) las propiedades fisiológicas y morfológicas del

cepellón (humedad, edad, arquitectura radicular y proporción de sustrato). Estas variables inciden directamente en la cohesión interna y en la resistencia mecánica durante la extracción, tal como lo indican Jiang et al. (2017).

Figura 2. *Fuerza de adhesión de las plántulas de jitomate al extraerlas de las cavidades de las charolas germinadoras. Letras minúsculas diferentes (a, b) indican diferencias significativas entre híbridos según la prueba de comparación múltiple de Tukey (p-value < 2 × 10^{-14}).*



La Figura 3 presenta los principales daños observados durante la evaluación de la AF. De las 150 plántulas analizadas, solo tres mostraron algún tipo de daño, independiente del híbrido. La Figura 3a ilustra un dato atípico correspondiente a una plántula con dimensiones menores a la media y un sistema radicular incompleto, lo que limitó su desarrollo en el sustrato. La Figura 3b evidencia daño ocasionado por una distribución heterogénea del sustrato, afectando la estabilidad radicular. Finalmente, la Figura 3c muestra la fractura del cepellón en la zona media, provocando pérdida parcial y comprometiendo la viabilidad para el trasplante.

Es relevante señalar que, en estas muestras, no se aplicó fuerza externa en la base de las cavidades, práctica que comúnmente emplean los productores para facilitar la extracción. Esta decisión metodológica se adoptó con el propósito de cuantificar de manera más precisa la AF real ejercida por las plántulas al ser extraídas de las charolas germinadoras, replicando así las condiciones reales que enfrentan los sistemas de trasplante automatizado.

Figura 3. *Tipos de daños presentados en el RB: a) sustrato residual en la cavidad debido a un sistema radicular incompleto en una plántula H3, b) daño parcial de RB en una plántula H2 y c) Rotura de RB en una plántula H1.*

Conclusiones

La AF de plántulas de jitomate mostró variaciones significativas entre híbridos, siendo H2 el que presentó los valores más altos (2.841–13.178 N). Estas diferencias se relacionan con la composición y compactación del sustrato, humedad del cepellón y propiedades físico-mecánicas de las charolas germinadoras. El híbrido con mayor AF también exhibió un mayor valor comercial por unidad de semilla, lo que sugiere una relación entre la robustez de la plántula y su valor en el mercado. Aunque el 98 % de las plántulas se extrajo sin daño, el resto presentó fallas estructurales vinculadas a una distribución irregular del sustrato y a sistemas radiculares incompletos. Se recomienda optimizar las prácticas de riego, las características del sustrato y los pretratamientos mecánicos para mejorar la extracción sin comprometer la integridad del cepellón. Estos hallazgos proporcionan una base técnica para el diseño de sistemas automatizados de trasplante que aseguren la adecuada sujeción del tallo y preserven tanto la estructura radicular como la viabilidad fisiológica de las plántulas.

Referencias

Ahmed, N., Zhang, B., Deng, L., Bozdar, B., Li, J., Chachar, S., Chachar, Z., Jahan, I., Talpur, A., Gishkori, M. S., Hayat, F., y Tu, P. (2024). *Advancing horizons in vegetable cultivation: a journey from ageold practices to high-tech greenhouse cultivation — a review*. Frontiers in Plant Science, 15(April), 1–26. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1357153

Cheng, C., Fu, J., Su, H., y Ren, L. (2023). *Recent advancements in agriculture robots: benefits and challenges*. Machines, 11(1), 1–24. https://doi.org/10.3390/machines11010048

Han, L., Ma, H., Mo, M., Kumi, F. K., Hu, J., y Mao, H. (2024). *Design and test of an efficient seedling pick-up device with a combination of air jet ejection and mechanical action*. Journal of Agricultural Engineering, 55. https://doi.org/10.4081/jae.2024.1575

Han, L., Xiang, D., Xu, Q., Du, X., Ma, G., y Mao, H. (2023). *Development of simplified seedling transplanting device for supporting efficient production of vegetable raw materials*. Applied Sciences (Switzerland), 13(18), 10022. https://doi.org/10.3390/app131810022

Ji, D., Liu, L., Zeng, F., Zhang, G., Liu, Y., Diao, H., Tian, S., y Zhao, Z. (2024). *Design and experimental study of a traction double-row automatic transplanter for Solanum Lycopersicum seedlings*. Horticulturae, 10(7), 1–14. https://doi.org/10.3390/horticulturae10070692

Jiang, Z., Hu, Y., Jiang, H., y Tong, J. (2017). *Design and force analysis of end-effector for plug seedling transplanter*. PLoS Computational Biology, 12(7), 1–15. https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180229

Jin, X., Li, D. Y., Ma, H., Ji, J. T., Zhao, K. X., y Pang, J. (2018). *Development of single row automatic transplanting device for potted vegetable seedlings*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(3), 67–75. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.3969

Jin, X., Li, R., Ji, J., Yuan, Y., y Li, M. (2021). *Obstacle avoidance transplanting method on kinect visual processing*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14(5), 72–78. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211405.6451

Magar, A. P., Nalawade, S. M., Walunj, A. A., Khadatkar, A., Bhangare, S. C., Bhalekar, M. N., Nimbalkar, C. A., y Gaikwad, B. B. (2023). *Engineering Properties of Some Plug-type Vegetable Seedlings for Development of Automatic Vegetable Transplanter*. Journal of Agricultural Engineering (India),

60(1), 1–13. https://doi.org/10.52151/jae2023601.1792

Nage, S. M., Mathur, S. M., y Meena, S. S. (2023). *Vegetable Transplanters for India: A Review*. Agricultural Science Digest, 43(2), 129–134. https://doi.org/10.18805/ag.D-5548.Submitted

Wang, X., Zhou, H., y Tong, J. (2024). *The simplification and analytical verification of the static liquid bridge force model for particle adhesion in inferior seedling substrates*. Surfaces and Interfaces, 53. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.104994

Zhou, B., Miao, H., Guan, C., Ji, X., y Wang, X. (2024). *Design and Test of Seedling-Picking Mechanism of Fully Automatic Transplanting Machine*. Applied Sciences (Switzerland), 14(20). https://doi.org/10.3390/app14209235

Capítulo **40**

Rentabilidad de la producción de dátil en el Valle de Mexicali

Montiel Batalla Blanca Margarita[1]
Achiquen Millán Jimena[85*]
Galicia Juárez Marisol[85]
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe[85]
Hernández Pérez Jonathan[85]
Castañeda Trujano Francisco Javier[85]
Lazalde Cruz Rosalba[2]

[1] Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta S/N, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, 21705. *Autor de correspondencia: jimena.achiquen@uabc.edu.mx.
[2] Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Carretera Mexicali - San Felipe Km 3.5, Laguna Campestre, Mexicali, B.C.

Resumen

El cultivo de dátil en México ha adquirido relevancia, especialmente en el Valle de Mexicali, donde se concentra una parte significativa de la superficie nacional. Dada la importancia de esta actividad, el objetivo de esta investigación fue determinar la estructura de costos de la producción de dátil en la región, con la finalidad de aportar información que sirva como referente para la toma de decisiones técnicas y comerciales. Para lo anterior, entre marzo y junio de 2024, se modeló la unidad representativa de producción BCDA01 (Baja California, dátil, una hectárea) con apoyo de un panel de productores. Los resultados muestran que la mano de obra y la cosecha concentraron más del 70 % de los costos, lo que refleja una elevada dependencia de este recurso. A pesar de ello, el flujo neto de efectivo fue positivo, lo que indica la viabilidad de la actividad en el corto plazo. Se concluye que el cultivo de dátil representa una alternativa rentable para el Valle de Mexicali; sin embargo, la dependencia de la mano de obra exige explorar alternativas organizativas y tecnológicas que mitiguen la vulnerabilidad frente a variaciones en su costo, asegurando así la sostenibilidad en el largo plazo.

Introducción

El dátil (*Phoenix dactylifera* L.) es un fruto de gran importancia en el Medio Oriente, donde su producción y consumo son ampliamente reconocidos. En México, este cultivo muestra una clara tendencia de expansión, reflejada no solo en el incremento de la superficie cosechada y en los volúmenes producidos, sino también en el crecimiento sostenido de las exportaciones, tanto en términos de cantidad como de valor económico (FAOSTAT, 2025; SIAP, 2025). En 2023, Baja California se consolidó como una de las cuatro entidades productoras de dátil, con una producción de 8082 t, equivalentes al 41 % del total nacional. En el municipio de Mexicali se concentró el 50 % del área cultivada en México; no obstante, al tratarse de

plantaciones relativamente jóvenes, aún no alcanzan su máximo potencial productivo. Razón por la cual ocupó el segundo lugar nacional con 7846 t, después de San Luis Río Colorado, Sonora (8344 t) (SIAP, 2025).

Por otra parte, la gestión de costos constituye una herramienta esencial para la permanencia y competitividad de las empresas ante un mercado cada vez más globalizado. Así, reconocer la estructura de costos y determinar el costo unitario de producción permite decidir sobre volúmenes de producción, fijación de precios y asignación eficiente de recursos. Asimismo, facilita el establecimiento de mecanismos de control orientados a incrementar la rentabilidad (Villasmil Molero et al., 2020). En el ámbito agrícola, este enfoque permite identificar áreas de mejora en la planificación productiva y en la eficiencia de procesos.

Bajo este contexto, el objetivo de la presente investigación es determinar la estructura de costos de la producción de dátil en el Valle de Mexicali. Esto se logrará mediante el cálculo del flujo de efectivo neto con la finalidad de aportar información de corte económico que sirva como referente para la toma de decisiones técnicas y comerciales para el desarrollo de la industria datilera en la región.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo. La información se recabó a partir de paneles de productores, basados en la técnica Delphi (Sagarnaga Villegas et al., 2018). Para fines del presente estudio, se conformó un panel integrado por cinco productores de dátil, cuyas unidades de producción presentaban condiciones típicas de la región en términos de extensión de la parcela, nivel tecnológico y prácticas de manejo agronómico del cultivo. En la primera sesión del panel, realizada en marzo de 2024, los participantes contribuyeron a modelar la unidad representativa de producción (URP) definiendo las características de escala y del sistema productivo representativos de la zona. Se identificaron las labores de manejo agronómico, así como el almacenamiento, distribución y comercialización; asimismo, se registraron datos sobre rendimientos, precios de insumos, costos de mano de obra y servicios, precios de venta del producto y los activos necesarios para el funcionamiento de la URP. Los resultados fueron presentados en una

segunda sesión del panel llevada a cabo en junio de 2024, con el propósito de validar y complementar la información obtenida en la primera etapa.

Los datos se sistematizaron en un archivo en Excel® para calcular los costos totales de operación y el flujo de efectivo de acuerdo con AAEA (2000) y Sagarnaga Villegas et al. (2018) mediante las siguientes fórmulas:

$$CTO = CF + CV$$

$$FE = CF + CV + Cred + Ret$$

Donde: CTO= costos totales de operación; CF = costos fijos; CV = costos variables; FE = flujo de efectivo, Cred = pagos a créditos, Ret = retiros

Por otra parte, la viabilidad de la producción se calculó mediante el flujo neto de efectivo:

$$FNE = IN - FE$$

Donde: FNE = flujo neto de efectivo; IN = ingresos netos

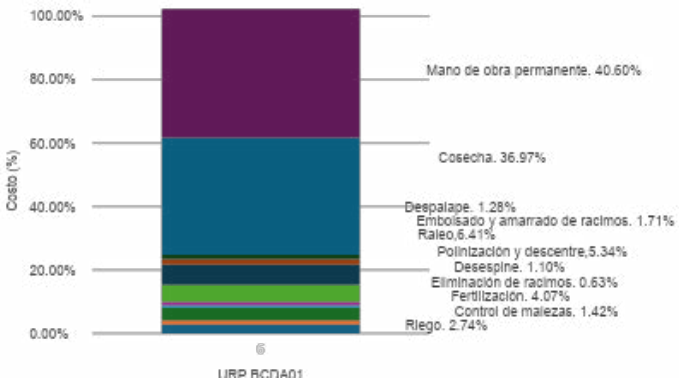
Un resultado positivo indica que la producción es viable en el corto plazo, mientras que un valor negativo refleja dificultades para que la URP se mantenga operativa bajo dichas condiciones.

Resultados y discusión

La URP BCDA01 se modeló en una superficie de 1 ha cultivada con palma datilera Mejhoul, bajo condiciones de cielo abierto y con riego rodado. El análisis económico se realizó considerando una plantación con seis años de establecida en el 2023, a fin de estimar su viabilidad en condiciones típicas de producción, dado que en esta edad de las palmas se alcanza cerca del 40 % de su rendimiento potencial. Las labores productivas del cultivo que se realizaron fueron acordes a lo reportado por Morales Maza et al. (2024), por lo que se omitió la extracción de polen. De igual manera, se consideró la comercialización directa en parcela, la contratación de un trabajador fijo y la participación del dueño de la URP tanto en el manejo productivo como en la administración de la unidad de producción. En la estructura de costos de BCDA01, la mano de obra permanente y la cosecha representaron la mayor proporción (Figura 1). Esto se debe a que la mayoría de las actividades como eliminación de racimos, desespine,

polinización, raleo, embolsado de racimos y despalape se realizaron de forma manual, lo que eleva el componente laboral hasta un 93 % del flujo de efectivo, situación que pone de manifiesto la elevada vulnerabilidad del sistema frente a los cambios en la oferta y el precio de la mano de obra.

Figura 1. *Costos de operación de la URP BCDA01*



Fuente: elaboración propia con información de paneles de productores.

Por otra parte, el FNE muestra que una plantación de seis años fue capaz de cubrir los costos de producción y generar una utilidad bruta de $80,403 MXN (Cuadro 1), lo que sugiere estabilidad de BCDA01 en el corto plazo. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Antillón Valdez et al. (2025) para el estado de Chihuahua; no obstante, habrá que considerar que esta situación es parcial, pues solo contempla egresos directos y excluye aspectos como depreciación de activos y costo de oportunidad de los factores productivos (Sagarnaga Villegas et al., 2018).

Cuadro 1. *Estructura de costos URP BCDA01*

Concepto	Monto (MXN)	Porcentaje (%)
Riego	6000	2,74 %
Control de malezas	3122	1,42 %
Fertilización	8923	4,07 %
Eliminación de racimos	1371	0,63 %
Desespine	2407	1,10 %
Polinización y descentre	11 702	5,34 %
Raleo	14 040	6,41 %
Embolsado y amarrado de racimos	3744	1,71 %
Despalape	2808	1,28 %
Cosecha	81 000	36,97 %
Mano de obra permanente	84 000	38,34 %
Flujo de efectivo	219 117	100 %
Ingresos	299 520	
Flujo neto de efectivo	80 403	

Fuente: elaboración propia con información de paneles de productores.

Conclusiones

El análisis económico de la producción de dátil en el Valle de Mexicali presenta un escenario favorable en el corto plazo; sin embargo, resulta indispensable mejorar la eficiencia en el uso de recursos y la diversificación de canales de comercialización para ampliar los márgenes de rentabilidad. La alta dependencia de mano de obra plantea la necesidad de explorar alternativas organizativas y tecnológicas que mitiguen la vulnerabilidad frente a variaciones en los costos de este recurso, asegurando la sostenibilidad en el largo plazo. Asimismo, futuros estudios deberán incorporar los costos no visibles de la actividad, como la depreciación de los activos productivos y los costos de oportunidad de los factores de producción, elementos que representan un desafío recurrente en la mayoría de las unidades de producción agropecuaria.

Referencias

AAEA. (2000). *Commodity costs and returns estimation handbook*. http://ageconsearch.umn.edu

Antillón Valdez, N. A., Olivas García, J. M., Carrillo Soltero, M. E., Guerrero Morelos, S., y Luján Álvarez, C. (2025). *Factibilidad para producción y comercialización del dátil Medjool en Chihuahua*. Trace, 87, 149–180. https://doi.org/10.22134/trace.87.2025.914

FAOSTAT. (2025). *Datos sobre alimentación y agricultura*. https://www.fao.org/faostat/es/#home

Morales Maza, A., Cabada Tavares, C. A., Mendoza Gómez, A., Núñez Ramírez, F., Cervantes Díaz, L., y Samaniego Gámez, B. Y. (2024). *Paquete tecnológico de la palma datilera (Phoenix dactylifera L.) variedad Mejhoul para el noroeste de México*.

Sagarnaga Villegas, L. M., Salas González, J. M., y Aguilar Ávila, J. (2018). *Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera y económica en unidades representativas de producción*. Universidad Autónoma Chapingo (UACh), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

SIAP. (5 de junio de 2025). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Villasmil Molero, M. del C., Reyes Díaz, J. G., y Socorro González, C. C. (2020). *Tipos de rentabilidad: consecuencias de una eficiente gestión estratégica de costos en empresas manufactureras del plástico*. In Y. A. Rincón Quintero, J. A. Restrepo Morales, y J. G. Vanegas López (Eds.), Funciones esenciales para la gestión de las pequeñas y medianas empresas 1, 269–296. Tecnológico de Antioquia.

Capítulo **41**

Por tu salud y nutricion IAP: un modelo de promotora comunitaria en Baja California y Sonora con la participación de mujeres rurales

Morales Maza Alma Rosa[1]
Morales Maza Antonio[2]
Cervantes-Díaz Lourdes[3]
Muñoz Madrid Alba Rocío[8,9]
Afani Regalado Ana Genoveva[4]
Mendoza Olmos Itzel[5]

[1] Institución Social, Por tu Salud y Nutrición IAP. San Luis Rio Colorado, Sonora.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Mexicali (CEMEXI-INIFAP).
[3] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA, UABC).
[4] Universidad Iberoamericana, Centro de Formación y Acción Social, León Guanajuato.
[5] Programa Bean Voyage, México. *Autor para correspondencia: portusaludynutricion@gmail.com.

Resumen

La participación de los ciudadanos y su integración como Institución de Asistencia Privada (IAP) ayudan con acciones para el bienestar y son promovidas por entidades internacionales como la Organización Mundial de la Salud. La Promotora Comunitaria (PC) participa como un modelo de intervención en asistencia social que surge como una acción participativa en la cual miembros de una comunidad de mujeres (rural o urbana) actúan sobre situaciones de condiciones de trabajo y/o marginalización, con falta de información sobre alimentación, salud, educación, entre otros, para encontrar soluciones y promover una transformación social para su salud, bienestar y entorno, a través de la capacitación y vinculación con otras instituciones de salud, educativas y de gobierno. Las personas que participan, independientemente de su grado de educación y posición social, contribuyen con diferentes acciones para la educación integral de la población intervenida (niñas/os, adolescentes, adultos mayores o público en general). En el presente documento se describen las experiencias y el trabajo de mujeres rurales y urbanas a través de Promotoras Comunitarias (PC) y con el modelo de intervención integral para prevenir enfermedades crónico degenerativas en la población, bajo la denominación de Institución de Asistencia Privada IAP, Por Tu Salud y Nutrición, fundada desde el 2009, y las aportaciones realizadas para fomentar y desarrollar el bienestar integral en Valle de San Luis Río Colorado, Sonora, y Baja California, México. A una década de su fundación, la institución cuenta con más de 1200 beneficiarios y con más de 50 participantes que replican el modelo en sus hogares, entre sus amistades y en sus comunidades.

Introducción

Por tu Salud y Nutrición, Institución de Asistencia Privada (IAP), fue constituida de forma legal el 28 de agosto de 2015 en San Luis Río Colorado, Sonora, México. Inicia con la participación de ocho promotoras provenientes de comunidades rurales y actualmente cuenta con aproximadamente 50 promotoras interesadas en cuidar su salud por medio de un programa integral de intervención, apoyando a la comunidad en el cuidado

de su salud. La denominación de IAP permite trabajar con diversas disposiciones y obligaciones legales en materia de rendición de cuentas, transparencia y utilización de recursos, donde se cumplen los principios altruistas y sin fines de lucro. Como objeto social, la institución tiene el propósito de brindar atención a las necesidades básicas de subsistencia en alimentación, rehabilitación médica, orientación social y educación. Asimismo, implementa un programa de intervención integral que involucra directamente al individuo, promoviendo su corresponsabilidad en el cuidado de la salud. Del mismo modo, colabora con los sistemas públicos y privados que promueven o fomentan estilos de vida saludables a través de conferencias, cursos, talleres y otros apoyos relacionados (jornadas y ferias de salud). Actualmente, Por tu Salud y Nutrición IAP colabora a través de convenios de colaboración con instituciones públicas (Secretaría de Salud, Salud Pública Municipal de Sonora, Instituto Sonorense de la Mujer, Capítulo San Luis), universidades (Universidad de Sonora, Universidad Tecnológica de San Luis Río Colorado, Centro Universitario de Sonora, Universidad Autónoma de Baja California, Universidad de Xochicalco, Universidad Vizcaya, Universidad de Durango, Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial Núm. 52 y Núm. 124); empresas locales (Hortícola Las Cumbres, ERC Empaque Río Colorado) y voluntarios en alianza con el sector salud (Bomberos Rojos de SLRC, Sonora, Ejército Mexicano de la Guarnición de Ejército SLRC) e instituciones sociales (VERTER A.C.); además, con las instituciones Campesinos Sin Fronteras de Somerton, Arizona, y Líderes Campesinas de California, donde se colabora con el mismo modelo de PC para la atención y prevención de enfermedades crónico-degenerativas y el empoderamiento de las mujeres rurales y urbanas. En este sentido, la pregunta que orienta este documento es: ¿Cómo el modelo de Promotora Comunitaria de Por tu Salud y Nutrición I.A.P. ha contribuido en el fomento y desarrollo integral de mujeres rurales del Valle de San Luis Río Colorado, Sonora, y el Valle de Mexicali, Baja California?

Actividades realizadas

Las promotoras comunitarias son personas que viven en la misma comunidad y que comparten intereses comunes en el cuidado de la salud

personal y de sus familias. Son un grupo que recibe capacitación a través de los convenios con los que cuenta Por tu Salud y Nutrición I.A.P., en el que imparten los talleres y las capacitaciones a los beneficiarios en temas diversos que van desde asesoría nutricional, preparación y cultura de consumo de alimentos saludables, mediciones de glucosa y presión arterial, así como la cultura de la instalación de huertos familiares o escolares para la producción de hortalizas de consumo tradicional (como tomate, chile, papa, cebolla, cilantro, calabaza, pepino, sandía, melón, entre otras). Esta última actividad promueve la terapia ocupacional por el contacto directo con la naturaleza. Los talleres que se imparten incluyen cinco actividades como medición de la glucosa y presión arterial, pláticas de nutrición y preparación de platillos, implementación de un huerto y kit de cítricos, producción de proteína animal y asesoramiento psicológico.

Se cuenta con un recetario de platillos con alto valor nutrimental; además, las promotoras han recibido capacitaciones en la elaboración de conservas, encurtidos, productos en salmuera, adecuada congelación y deshidratación de alimentos en el hogar. Otro de los temas que se han abordado son las prácticas de higiene en el proceso de alimentos para prevenir y reducir la contaminación cruzada y enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).

Por otra parte, las PC de Por tu Salud y Nutrición I.A.P. han replicado el modelo de intervención integral desde el 2023 con alumnos de nivel medio superior de la Escuela Secundaria Técnica n.º 4 de San Luis Río Colorado, Sonora, como una herramienta educativa, ecológica y social que transforma el aprendizaje y fortalece valores en los estudiantes. Esto con el objetivo de promover el respeto por la naturaleza y la conciencia ecológica por medio de un aprendizaje práctico para integrar conocimientos de ciencias, matemáticas, nutrición, educación financiera e instalación de huertos. En los talleres se capacita sobre alimentación balanceada y el origen de los alimentos para preparar los platillos de manera saludable; se fomenta el trabajo colaborativo para desarrollar habilidades sociales como la cooperación, el liderazgo y la responsabilidad compartida. El huerto escolar es de beneficio para la comunidad, ya que, además de producir alimentos, embellece el espacio y crea un ambiente más agradable y participativo, fortaleciendo los valores, donde se promueve el respeto, la paciencia, el

compromiso y el cuidado del entorno. Asimismo, promueve la inclusión educativa, puesto que permite que estudiantes con diferentes estilos de aprendizaje se involucren y crea un vínculo con la comunidad, invitando a los padres, vecinos y autoridades locales en actividades conjuntas. Se fomenta la sostenibilidad capacitando a los estudiantes para que realicen prácticas ecológicas como el compostaje, el reciclado y el uso responsable del agua. Se destaca que se ha replicado este modelo de intervención en la Secundaria Técnica n.º 12, de San Luis Río Colorado, Sonora, y han sido incluidas actividades para la venta de los productos que se cosechan, buscando la autosustentabilidad del huerto, además de consumo por los mismos estudiantes.

A 10 años de la fundación, son alrededor de 1248 beneficiarios. El número de promotoras ha ido en aumento, con alrededor de 50 que se encuentran activas y replican el modelo en sus hogares o con sus amigos y vecinos. Para el 2025, Por tu Salud y Nutrición I.A.P. ha participado en diferentes foros para la divulgación y socialización de las actividades que realiza con las mujeres rurales y urbanas en Sonora y Baja California, como el 3.º Congreso Internacional de Mujeres Agrónomas en el Horizonte, realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila; el encuentro Mujeres Rurales Transformando el Campo; y la Cumbre de Mujeres en Café 2025, realizada en San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

Conclusiones

Entre las actividades realizadas destaca el evento anual de la Feria de Salud de los Campesinos del Valle (10.ª edición), un evento itinerante en donde se ofrecen más de 20 servicios diferentes en materia de alimentación, orientación social y educación en salud con el programa de intervención integral, donde se involucra directamente al individuo para que se haga responsable del cuidado de su salud. El evento se lleva a cabo en las comunidades rurales o en las escuelas para acercar los servicios a la población. Se realizan jornadas de salud en las empresas locales con el objetivo de realizar detección temprana de algún padecimiento para prevenir enfermedades crónico-degenerativas en los trabajadores. El desarrollo del modelo de Promotora de Salud (PS) ha permitido que las participantes compartan

sus experiencias entre ellas, las cuales les han servido como motor de crecimiento personal y empoderamiento. Este proceso contribuye a mejorar las prácticas en cada una de las áreas atendidas mediante el modelo integral de la I.A.P. Por Tu Salud y Nutrición. En noviembre del 2023 se realizó el Primer Congreso Internacional Por tu Salud y Nutrición IAP "Cuidado tradicional y multidisciplinario para el bienestar de las familias" con la participación de ponentes de Guatemala, Costa Rica, Estados Unidos y México. Se tiene vinculación con Campesinos Sin Fronteras de Somerton, Arizona, y con Alianza Nacional de Campesinas de California, colaborando con el mismo modelo para la atención y prevención de enfermedades crónico-degenerativas.

Referencias

Campesino sin Fronteras. (2020). *Advocating for working families to build a brighter future: Promotoras de la salud*. https://www.campesinossinfronteras.com/

CECATI 52. (2025, septiembre). *Evento conmemorativo de los 10 años de Fundación de Por tu Salud y Nutrición I.A.P.* [Publicación de Facebook].

Hospital de Jesús. (1940). *Historia y creación de la denominación de Institución de Asistencia Privada* [Documento de archivo]. Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Por tu Salud y Nutrición IAP. (2025). *Conócenos*. https://www.portusaludynutricion.org/conocenos/

World Health Organization. (1998). *Health promotion glossary*. https://www.who.int/health-topics/health-promotion#tab=tab_1

Capítulo **42**

Lombricomposta y fitorregulador en el crecimiento de plantas de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en casa sombra

Román Román Leonardo[1]
López Avendaño Jesús Enrique[92]
Rojas Pérez Héctor[2]
Félix Ceballos José Ignacio[93]
Martínez López Fabián[93]
Camacho Angulo Flavio[93]
Morales Maza Antonio[3]
Molina Cárdenas Lorena[92*]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Apartado Postal 25, C P. 80000. Culiacán, Sinaloa, México. *lorenamolina@uas.edu.mx

[2] Tecnológico Nacional de México/ITS de Eldorado. Av. Tecnológico S/N Col. Rubén Jaramillo, C.P. 80450. Eldorado, Culiacán, Sinaloa, México.

[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de Mexicali (CEMEXI). C.P. 21700. Mexicali, Baja California, México.

Resumen

Las lombricompostas incorporadas en suelo promueven el buen desarrollo de frutos en hortalizas. Además, inducen el cuajado de frutos, que conlleva incrementar el rendimiento de los cultivos. El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de conocer la influencia de la lombricomposta (LB) y fitorregulador (AG) en el cultivo de calabacita, bajo condiciones de casa sombra. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con ocho tratamientos y seis repeticiones. La altura de planta fue afectada por el factor cultivar Aurora. La aplicación de lombricomposta y fitorregulador en el cultivar Jacobo promovió el diámetro de tallo (Jacobo+LB y Jacobo+AG). El peso seco de planta aumentó con la aplicación de lombricomposta en el cultivar Aurora (Aurora+LB). Los tratamientos no influyeron en la variable número de hojas.

Introducción

Las lombricompostas son abonos orgánicos que se pueden utilizar para satisfacer la demanda nutritiva de las plantas (Moreno-Reséndez et al., 2019) y mejorar las propiedades fisicoquímicas de los suelos (Villegas-Cornelio y Laines, 2016). Además, sus derivados, como lixiviados y tés de lombricompostas, son también alternativas de producción sustentable (Piña-Ramírez et al., 2015).

La combinación de dichos abonos orgánicos con los fertilizantes inorgánicos puede contribuir a la reducción del empleo de agroquímicos, y con ello cuidar el medio ambiente y la salud de los consumidores (Romero-Romano et al., 2012).

La incorporación de las lombricompostas promueve la germinación, el crecimiento, la floración, la fructificación y la resistencia a patógenos (Domínguez et al., 2010), como la inhibición en el desarrollo de Fusarium en el cultivo de tomate (Zhao et al., 2010). Por consiguiente, orienta hacia una deseable promoción del rendimiento (Sarmiento-Sarmiento et al., 2019).

Por otra parte, la aplicación de fitorreguladores formulados con auxinas, citocininas o giberelinas para la inducción del cuajado del fruto y el aumento del rendimiento ha sido objeto de numerosos estudios en campo abierto y bajo sistemas protegidos, en cultivos como chile, mango, sandía, nopal y calabacita (Ayala-Tafoya et al., 2020; Ramírez-Luna et al., 2005; Pérez-Barraza et al., 2009; Rueda-Luna et al., 2015; Varela-Delgadillo et al., 2018).

En México, el cultivo de calabacita ocupa el tercer lugar, de acuerdo con la importancia de los cultivos de cucurbitáceas, pero el 99.8 % se produce en condiciones de campo abierto (SIAP, 2021).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de lombricomposta y un complejo de reguladores de crecimiento vegetal (Agromil®Plus) en plantas de calabacita bajo condiciones de casa sombra.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se llevó a cabo dentro de una estructura de protección de cultivos, tipo casa sombra, en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, localizada a 24º 48' 30" LN, 107º 24' 30" LO y una altitud de 38.54 m. El análisis de fertilidad, realizado antes del cultivo, indicó que el suelo tiene textura arcillosa (59 % arcilla, 21 % arena y 20 % limo), con un bajo contenido de materia orgánica (1,21 %), un porcentaje de saturación del 79 %, un pH de 7,85, una conductividad eléctrica (CE) de 0,58 $dS \cdot m^{-1}$, RAS de 1.77 y PSI de 1.33. En Culiacán, Sinaloa, el clima es BS1(h´)w(w)(e): Semiseco muy cálido, extremoso con lluvias de verano, con un porciento de precipitación invernal con respecto al total anual menor de cinco (García, 2004). Las medias de temperatura (21.9°C) y humedad relativa (69,5 %) registradas mediante termohigrómetros (DT171, Twilight) estuvieron dentro de los intervalos óptimos (18 a 24°C y 65 a 80 %) para el cultivo de calabaza (Molinar et al., 1999; Cortés, 2003).

El suelo del área experimental se preparó mediante herramientas agrícolas de uso manual. Se formaron cuatro camas a 1.8 m de distancia una de otra, de 33 m de longitud, a la mitad de las cuales se aplicó lombricomposta (10 t ha^{-1}). Luego se colocaron dos líneas de cinta de riego con goteros cada 0.20 m encima de cada cama y se colocó acolchado con polietileno

coextruido blanco/negro. La siembra se hizo en charolas de poliestireno de 128 cavidades llenas de turba (Kekkilä Brown 025W); cuando las plantas contaban con dos hojas verdaderas, se llevaron a campo para el trasplante (27 de noviembre 2020), con una densidad de 11 820 plantas por hectárea.

La aplicación de agua y fertilizantes se realizó mediante un sistema de riego por goteo, utilizando la solución Steiner (1984), al 50 % desde el trasplante hasta la antesis de las primeras flores femeninas, y posteriormente se adicionó la solución completa. La aplicación del riego sucedió cuando los tensiómetros (2725ARL, Soil Moisture Equipment) colocados a 30 cm de profundidad del suelo indicaron tensión de humedad de 20 a 25 kPa.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial 2A x 2B x 2C, con ocho tratamientos y 6 repeticiones. El factor A correspondió al cultivar de calabacita, con dos niveles: Jacobo y Aurora, del tipo "green zucchini" y "gray zucchini". El factor B, también con dos niveles, correspondió a la lombricomposta (LB): con 10 t ha^{-1} aplicadas al suelo y sin lombricomposta. El factor C, igualmente con dos niveles (1.5 mL L^{-1} y sin aplicación), del fitorregulador comercial Agromil®Plus (AG): extractos de origen vegetal: 83.39 %, citocininas: 2081.9 ppm, giberelinas: 31.0 ppm, auxinas: 30.5 ppm, vitaminas: 947. 95 ppb: asperjado en dosis de 2.5 mL L^{-1}.

Las variables de crecimiento evaluadas fueron: altura de planta (AP), con una cinta métrica; diámetro de tallo (DT), mediante un vernier digital (6MP, Truper); número de hojas formadas por planta (NH); peso seco de planta (PS), obtenidas al final del ciclo de cultivo, con una balanza de precisión (CP622, Sartorius), después de secar el material vegetal en horno eléctrico (292, Felisa) a 70°C hasta peso seco constante.

Los resultados obtenidos de las variables de respuesta fueron sometidos al análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el software STATISTICA versión 7.0 (StatSoft, 2004).

Resultados y discusión

La mayor altura de plantas de calabacita fue promovida por los tratamientos Aurora, Aurora+LB y Aurora+LB+AG. Este primer tratamiento (Aurora) fue superior ($p \leq 0.05$) desde 20,6 % (Aurora+AG) hasta 47,1 % (Jacobo+AG) al resto de los tratamientos (Cuadro 1). La altura

alcanzada por las plantas de ambos cultivares fue inferior a la reportada en condiciones de invernadero por Román-Román et al. (2022), de 190.4 (Aurora) y 156.5 cm (Jacobo).

Con aplicación de LB y AG se observó el mayor diámetro de tallo de las plantas del cultivar Jacobo (Cuadro 1), sin diferencias ($p \leq 0.05$) con respecto a Aurora+LB y Aurora, pero superaron desde 16 % (Aurora+LB+AG) hasta 33,3 % (Jacobo) el diámetro de tallo que presentaron las plantas del resto de los tratamientos. El diámetro de tallo observado en los dos cultivares (Aurora y Jacobo) coincide con los resultados reportados por Román-Román et al. (2022) de 16.3 y 16.6 mm en condiciones de invernadero.

Cuadro 1. A*ltura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso seco (PS) de plantas de calabacita cultivar Jacobo y Aurora, con o sin lombricomposta (LB) y/o fitorregulador (AG) en condiciones de casa sombra.*

Tratamiento	AP (cm)	DT (mm)	NH	PS (g)
Jacobo+LB+AG	93.7±3.6 bc	15.5±0.5 bc	22.2±0.2 a	233.5±10.1 b
Jacobo+LB	98.5±2.1 bc	18.8±0.4 a	23.2±0.3 a	288.3±8.7 ab
Jacobo+AG	83.8±4.7 c	18.8±0.3 a	23.0±0.4 a	269.4±9.2 ab
Jacobo	99.8±5.9 bc	14.1±0.8 c	22.7±0.6 a	279.4±20.1 ab
Aurora+LB+AG	107.3±3.3 ab	16.2±1.0 bc	22.2±0.7 a	273.0±12.0 ab
Tratamiento	**AP (cm)**	**DT (mm)**	**NH**	**PS (g)**
Aurora+LB	110.5±2.4 ab	17.8±0.5 ab	24.0±0.6 a	329.6±24.7 a
Aurora+AG	102.2±5.6 b	15.6±0.3 bc	21.8±0.2 a	240.9±19.2 b
Aurora	123.3±1.8 a	17.0±0.5 ab	22.2±0.7 a	285.1±6.7 ab
DMSH	16.6	2.4	2.1	63.5

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05). DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

El número de hojas formadas por planta no fue afectado por los tratamientos (Cuadro 1). Se observó un incremento en el peso seco acumulado en la parte aérea de la planta (329.6 g) con la aplicación de lombricomposta en el cultivar Aurora (Aurora+LB), aunque solamente superó en 36,8 y 41,2 % al peso seco inducido por los tratamientos Aurora+AG y Jacobo+LB+AG, respectivamente. Román-Román et al. (2022) observaron

mayor peso seco de plantas de calabacita (Aurora: 407.4 g y Jacobo: 383.7 g) con respecto a lo obtenido en la presente investigación.

Conclusiones

La altura de las plantas del cultivar Aurora fue mayor que la de las plantas del cultivar Jacobo. El diámetro del tallo de las plantas de calabacita fue inducido mediante la aplicación de la lombricomposta y Agromil®plus.

Referencias

Ayala-Tafoya, F., López-Urquídez, G. A. Parra-Delgado, J. M., Retes-Manjarrez, J. E., López-Orona, C. A. y Yáñez-Juárez, M. J. (2020). *Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita (Cucurbita pepo L.) en invernadero.* Terra Latinoamericana 38, 257-265. https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620

Cortés, M. M. M. 2003. *El cultivo protegido del calabacín. In: Camacho, F. F. (Coord.) Técnicas de producción en cultivos protegidos.* Ediciones Agrotécnicas, S.L. 723-738.

Cortez-Vega, W. R., Brose, P. I. B., Prentice, C. and Dellinghausen, B. C. (2014). *Influence of different edible coatings in minimally processed pumpkin (Cucurbita moschata Duch).* International Food Research Journal 21, 2017-2023.

Domínguez, J., Lazcano, C. and Gómez-Brandón, M. (2010). *Influence of vermicompost on plant growth.* Contributions toward the development of an objective concept. Acta Zoológica Mexicana 2, 359-371.

Molinar, R., Aguiar, J., Gaskell, M. and Mayberry, K. (1999). S*ummer squash production in California.* University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. https://doi.org/10.3733/ucanr.7245

Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J. L., Preciado-Rangel, P., Ramírez-Aragón, M. G. y Moncayo-Luján, M. R. (2019). *Desarrollo de calabacita con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de invernadero.* Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 6(6), 145-151. https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1803

Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., Osuna-García, J. A. y Urías-

López, M. A. (2009). *Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' con reguladores de crecimiento*. Revista Chapingo. Serie Horticultura 15(2), 183-188.

Piña-Ramírez, F. J., Soto-Parra, J. M., García-Muñoz, S. A., Flores-Plascencia, J. B. y Pérez-Leal, R. (2015). *Disminución de la solución nutritiva con aplicaciones de composta en la producción de tomate en invernadero.* Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan 3, 928-937.

Ramírez-Luna, E., Castillo-Aguilar, C.C., Aceves-Navarro, E. y Carrillo-Ávila, E. (2005). *Efecto de productos reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile 'Habanero'*. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1), 93-98.

Román-Román, L., Ayala-Tafoya, F., Parra-Delgado, J. M., Díaz-Valdés, T., López-Orona, C. A. y Velázquez-Alcaraz, T. J. (2022). P*rodución de calabacita con y sin polinización de flores a mano en condiciones de casa malla.* Revista Fitotecnia Mexicana 45(2), 165-172. https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.165

Romero-Romano, C. O., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E. y Tobar-Reyes, J. R. (2012). *Fertilización orgánica - mineral y orgánica en el cultivo de fresa (Fragaria x ananasa Duch.) bajo condiciones de invernadero.* Ra Ximhai 8, 41-49.

Rueda-Luna, R., Reyes-Matamoros, J., Flores-Yáñez, M.C., Romero-Hernández, M. y Marín-Castro, M. A. (2018). *Cultivo de sandía diploide injertada en invernadero.* Interciencia 43(3), 198-201.

Sarmiento-Sarmiento, G. J., Pino-Cabana, D., Mena-Chacón, L. M., Medina-Dávila, H. D. y Lipa-Mamani, L. M. (2019). *Aplicación de humus de lombriz y algas marinas en el cultivo de sandía (Citrullus lanatus Thunb.) var. Santa Amelia.* Scientia Agropecuaria 10(3), 363–368. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.06

SIAP. (2021). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [En línea]. www.gob.mx/siap

Soriano-Melgar, L. A., Izquierdo-Oviedo, H., Saucedo-Espinosa, Y. A. y Cárdenas-Flores, A. (2020). *Efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre calidad y capacidad antioxidante de frutos de calabacita (Cucurbita pepo L. 'Grey Zucchini').* Terra Latinoamericana 38(1), 17-28. https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.516

StatSoft, Inc. (2004). *STATISTICA (data analysis software system)*, version 7.

www.statsoft.com

Steiner, A. A. (1984). *The universal nutrient solution.* Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. 633-650.

Urías-Orona, V., Muy R. D., Osuna, E. T., Sañudo, B. A., Báez, S. M.,Valdez, T. Benigno., Siller C. J. y Campos, S. J. (2012). *Estado hídrico y cambios anatómicos en la calabacita (Cucurbita pepo L.) almacenada.* Revista Fitotecnia Mexicana 35(3), 221-228.

United States Department of Agriculture. (2016). *United states standards for grades of summer squash.* https://www.ams.usda.gov/grades-standards/summer-squash-grades-and-standards.

Varela-Delgadillo, O. E., Livera-Muñoz, M., Muratalla-Lúa, A. y Carrillo-Salazar, J. A. (2018). *Inducción de partenocarpia en Opuntia spp.* Revista Fitotecnia Mexicana 41(1), 3-11.

Zhao, H. T., Luo, J., Shan, Y. H., Wang, A. L., Liu, P., Feng, K. (2010b). *Effects of vermicompost organic-inorganic mixed fertilizer on yield and quality components of cucumber cultivated in greenhouse.* Plant Nutrition y Fertilizer Science 16, 1288–1293.

V

Fitosanidad

Capítulo **43**

Crecimiento *in vitro* de *Phytophthora capsici* en respuesta a la calidad de luz emitida por combinaciones de LED

Zazueta Torres Norma Delia[1*]
Cázarez Flores Luz Llarely[2]
Rojas Pérez Héctor[95]
Mendoza Gómez Aurelia[3]
Yáñez Juárez Moisés Gilberto[96]
López Avendaño Jesús Enrique[96]
Cano Campos Mirta Candelaria[95]

[1] Tecnológico Nacional de México/ ITS Eldorado, Av. Tecnológico S/N Col. Rubén Jaramillo, CP. 80450.Eldorado, Sinaloa, México. *norma.zt@eldorado.tecnm.mx.
[2] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Apartado Postal 25, C P. 80000. Culiacán, Sinaloa, México.
[3] Instituto de Ciencias Agrícolas, Carretera a Delta/Oaxaca s/n, Ejido Nuevo León, C.P. 21705, Valle de Mexicali, B.C.

Resumen

La investigación se realizó para conocer la influencia de la calidad de luz emitida por combinaciones de LED sobre el crecimiento radial y biomasa de micelio de *Phytophthora capsici* cultivado *in vitro*. Se utilizaron cuatro tratamientos que consistieron en combinaciones de LED blancos (B), rojos (R) y azules (A) ubicados en las cámaras de crecimiento, con porcentajes de: 100B-0R-0A, 70B-30R-0A, 80B-0R-20A y 60B-27R-13A, los cuales se establecieron bajo un diseño completamente al azar con 10 repeticiones. El espectro luminoso emitido por las lámparas LED influyó en el crecimiento in vitro del hongo, ya que con el tratamiento 80B-0R-20A, en el que hubo mayor emisión de luz azul, se redujo el crecimiento radial y biomasa de micelio *Phytophthora capsici* debido al mayor contenido espectral de luz azul (400-500 nm).

Introducción

El *oomiceto Phytophthora capsici*, este fitopatógeno, es una de las especies del género *Phytophthora* con mayor importancia a nivel mundial, debido a que afecta al menos 50 especies de plantas cultivables y causa importantes pérdidas de producción (Saltos et al., 2022). Los hongos filamentosos poseen un gran conjunto de diferentes fotorreceptores sensoriales, por lo que pueden responder ante una amplia gama de longitudes de onda de luz, desde la ultravioleta hasta la roja lejana (Dasgupta et al., 2016; Fuller et al., 2015). Los diodos emisores de luz (LED) emergieron como una fuente de luz novedosa y eficiente para promover el crecimiento de las plantas. Ejemplo de ello se presenta en cámaras de investigación con LED, donde se puede proporcionar luz roja o azul monocromática (Cope y Bugbee, 2013). El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto que ocasiona la calidad de luz emitida por las combinaciones de LED blancos, azules y rojos sobre el crecimiento radial y biomasa del micelio de *Phytophthora capsici* cultivado *in vitro*.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Anatomía Vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, en Culiacán, Sinaloa, México. Se utilizaron cámaras de crecimiento con un sistema de iluminación con base en lámparas espectrales LED. El patógeno primario de Phytophthora capsici se obtuvo de una planta huésped de chile; la siembra y purificación del patógeno se realizó en medio Agar de Dextrosa y Papa (PDA), a una temperatura constante de 20 °C. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y 10 repeticiones. Los tratamientos consistieron en 100 % de luz blanca, cero por ciento roja y cero azul (100B-0R-0A) emitida por LED blancos (B); 70 % de luz blanca, 30 % roja y cero por ciento azul (70B-30R-0A) a partir de la combinación de LED blancos y rojos (R); 80 % de luz blanca, cero roja y 20 % azul (80B-0R-20A) logradas al unir LED blancos y azules; y 60 % luz blanca, 27 % roja y 13 % azul (60B-27R-13 %A), generadas al complementar LED blancos, rojos y azules; ubicados en las respectivas cámaras de crecimiento, en las cuales los porcentajes de luz por cada tratamiento se determinaron en base a la cantidad y tipos de LED colocados. Con las combinaciones de LED, las cantidades absolutas de flujo fotónico fotosintético (FFF), luz roja (LR), luz roja lejana (LRL), luz azul (LA) y las cantidades relativas de LR y LA con relación a FFF y proporcionales entre LR, LA y LRL que se indican en el Cuadro 1. La calidad de luz (Cuadro 1), expresada en función del FFF correspondiente, a los intervalos de longitud de onda de 400 a 700 nm (radiación fotosintéticamente activa), 400 a 500 nm (luz azul), 600 a 700 nm (luz roja) y 700 a 800 nm (luz roja lejana) fue determinada con un espectrorradiómetro (FieldSpec Pro®VNIR, Analytical Spectral Devices, EE. UU.). Las variables de respuesta fueron: crecimiento radial del hongo en medio PDA, el cual se midió cada 24 horas con un vernier digital (6MP, Truper Herramientas, México).

Cuadro 1. *Características espectrales de la luz emitida por las combinaciones de LED.*

Parámetros	**Tratamientos**			
	100B-0R-0A	**70B-30R-0A**	**80B-0R-20A**	**60B-27R-13A**
FFF (400-700 nm)x	81.31	70.51	79.15	68.76
LA (400-500 nm)x	19.67	15.73	33.08	24.85
LR (600-700 nm)x	18.52	20.87	13.66	16.55
RL (700-800 nm)x	2.78	4.48	1.68	3.26
LA: LR (400-500/600-700 nm)z	1.06	0.75	2.42	1.50
LA: LRL (400-500/700-800 nm)z	7.07	3.51	19.70	7.62
LR: LA (600-700/400-500 nm)z	0.94	1.33	0.41	0.67
LR: LRL (600-700/700-800 nm)z	6.66	4.56	8.13	5.07

FFF = Flujo fotónico fotosintético. LA = Luz azul, LR = Luz roja, LRL = Luz roja lejana. B = % LED blancos, R = % LED rojos, A = % LED azules. Cantidades absolutasx (μmol $m^{-2}s^{-1}$) y proporcionalesz (adimensional).

La producción de biomasa del micelio fue obtenida después de separarlo del medio de cultivo. Posteriormente, fueron puestos en papel filtro para depositarlos en horno (FE293AD, Felisa, México) a 70°C de secado hasta peso seco constante, determinado con balanza analítica (SA120, Scientech, EE. UU.). Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza, comparación de medias con la prueba de Tukey (5 %) y mediante el paquete estadístico Minitab 16.

Resultados y discusión

Cuadro 2. *Influencia de combinaciones del LED en el crecimiento radial de Phytophthora capsici después de 24,48,72 horas de exposición a la luz.*

	HEXL Crecimiento radial (mm)		
Tratamientos	**24**	**48**	**72**
100B-0R-0A	16.24±1.21b	27.94±1.28 bc	41.72 ±1.57ab
70B-30R-0A	18.59± 0.96a	30.98±1.41 a	43.31± 2.46a
80B-0R-20A	16.11 ±1.45b	25.48± 1.22c	40.64±2.35 b
60B-27R-13A	17.76 ±1.97ab	29.89±3.14 ab	43.12±2.07 ab

HEXL horas de exposición a la luz. B = % de LED blancos, R = % de LED rojos, A = % de LED azules. *= medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

La calidad de luz emitida por las lámparas LED originó efectos significativos ($P \leq 0.05$) sobre el crecimiento radial de *Phytophthora capsici.* Así, después de 24 horas de exposición a la luz (HEXL), la mayor cantidad de LR (20.87 μmol $m^{-2}s^{-1}$) y la mayor proporción LR:LA (1.33), emitida por la combinación de LED con 70B-30R-0A, indicados en el Cuadro 1, ocasionaron que el crecimiento radial del hongo Phytophthora capsici aumentara en 15,3, 14,4 y 4,6 % con relación al crecimiento radial del hongo que recibió las diferentes combinaciones de LED con 80B-0R-20A, 100B-0R-0A y 60B-27R-13A (Cuadro 2). Mientras que a las 48 y 72 H HEXL el crecimiento radial del hongo que recibió 70B-30R-0A aumentó en 10,87 y 3,81 %, respectivamente, en comparación con el crecimiento presentado por el hongo que creció bajo el efecto de la emisión de luz azul, con la combinación de LED 80B-0R-20A se tuvieron 33.08 μmol m^{-2} s^{-1}. Así mismo, el crecimiento radial presentado por el hongo que creció bajo la combinación de 60B-27R-13A a los 48 y 72 HEXL fue superior en 6,79 y 3,35 % con respecto al crecimiento radial bajo la influencia de 80B-0R-20A con mayor emisión de LA (33.08 μmol m^{-2} s^{-1}) y la mayor proporción LA:LR (2.42).

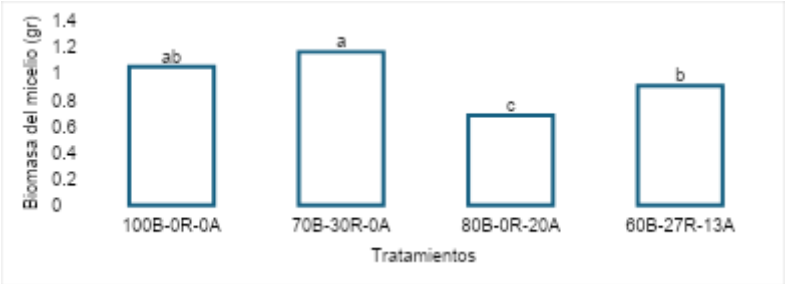
Cuadro 3. *Influencia de combinaciones del LED en el crecimiento radial de Phytophthora capsici después de 96,120,144 horas de exposición a la luz.*

	HEXL Crecimiento radial (mm)		
Tratamientos	**96**	**120**	**144**
100B-0R-0A	51.56± 2.15 b	63.48 2.78± ab	69.54 1.85± a
70B-30R-0A	55.98±5.43 a	66.55± 4.13 a	71.53± 3.11 a
80B-0R-20A	51.17±2.27 b	62.19± 2.03 b	68.54± 2.72 a
60B-27R-13A	55.08± 2.76 ab	66.66 ±2.73 a	71.03± 2.23 a

HEXL horas de exposición a la luz. B = % de LED blancos, R = % de LED rojos, A = % de LED azules. *= medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

El crecimiento radial obtuvo su mayor expresión bajo la influencia de LR (20.87 μmol m^{-2} s^{-1}) (Cuadro 3), ya que los 96, 120 y 144 HEXL superaron con 9,40, 7,01 y 4,36 % al crecimiento radial del hongo que creció bajo la influencia de mayor emisión de luz azul con las combinaciones de 80B-0R-20A con la mayor proporción LA:LR (2.42) y LA:LRL (19.07). Asimismo, se observó un aumento del 8,57, 4,83 y 4,36 % con comparación al crecimiento del hongo que creció bajo el efecto de 100B-0R-0A con una emisión de luz azul de 19.67 μmol m^{-2} s^{-1} y mayor proporción de LA:LR (1.06). Estos resultados concuerdan con los reportados por Cheong et al. (2016), donde señalan que la irradiación de luz azul inhibió el crecimiento del micelio de *Aspergillus carbonarius* y *Aspergillus westerdijkiae*. Por lo tanto, la calidad de la luz en términos de longitud de onda juega un rol importante en el crecimiento y reproducción de los hongos. Mientras que Zazueta-Torres et al. (2021) encontraron que el espectro luminoso emitido por las lámparas fluorescentes de luz blanca fría con mayor emisión de luz azul disminuyó el crecimiento radial, biomasa de micelio de *Sclerotium rolfsii*.

Figura 1. *Biomasa del micelio de Phytophthora capsici bajo diferente calidad de luz LED.*



La calidad de luz emitida por las diferentes combinaciones de LED originó efectos significativos ($P \leq 0.05$) sobre la biomasa del micelio de *Phytophthora capsici* (Figura 1). El hongo que creció bajo 80B-0R-20A, con mayor emisión de luz azul, presentó la menor biomasa de micelio, seguido por el hongo crecido bajo el efecto de 100B-0R-0A. La mayor biomasa la presentó el hongo que creció bajo la mayor cantidad de LR (20.87 μmol m^{-2} s^{-1}) en la combinación de 70B-30R-0A.

Conclusiones

Los parámetros espectrales emitidos por las diferentes combinaciones LED influyeron en el crecimiento in vitro de *Phytophthora capsici,* ya que la luz azul disminuyó el crecimiento radial y de biomasa del micelio de dicho hongo.

Referencias

Cheong, K.K.; Strub, C.; Montet, D.; Durand, N.; Alter, P.; Meile, J.C.; Schorr Galindo, S.and Fontana, A. (2016). *Effect of different light wavelengths on the growth and ochratoxin A production in Aspergillus carbonariusand Aspergillus westerdijkiae.* Fungal Biol. 120(5), 745-751.

Cope, K. R. and Bugbee, B. (2013). S*pectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light*. HortSci. 4(48), 504-509.

Dasgupta, A.; Fuller, K.K.; Dunlap, J.C. and Loros, J.J. (2016). S*eeing the world differently: variability in the photosensory mechanisms of two model fungi*. Environ. Microbiol. 18(1), 5-20.

Fuller, K.K.; Loros, J.J. and Dunlap, J.C. (2015). *Fungal photobiology: visible*

light as a signal for stress, space and time. Current Genetics. 61(3), 275-288.

Saltos, L. A., Monteros-Altamirano, Á., Reis, A., Garcés-Fiallos, F. R. (2022). P*hytophthora capsici: the diseases it causes and management strategies to produce healthier vegetable crops*. Horticultura Brasileira, 40, 5-17.

Zazueta-Torres, N. D., Ayala-Tafoya, F., Gonzáles-Morales, S., Velázquez-Alcaraz, T. de J., Yáñez-Juárez, M. G., y Partida-Ruvalcaba, L. (2021). *Crecimiento in vitro de Sclerotium rolfsii en respuesta a la calidad de luz de tres tipos de lámparas fluorescentes*. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 12(1), 141–147.

Capítulo **44**

Efecto de bioestimulantes en el crecimiento morfométrico de plantas de maíz (*Zea mays* L.) Cultivadas en invernadero

Valle-Castillo Carmen Elena[1]
Valdez-Morales Maribel[2]
Magallanes-Tapia Marco Antonio[2]
Valenzuela-Escoboza Fernando Alberto[1]
Ceballos-Chávez Ángel Rosario[1]
López-Valenzuela Blanca Elvira[1*]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Calle 16 y Avenida Japaraqui, CP. 81110. Juan José Ríos, Sinaloa, México. blancalopezvzla@favf.mx.
[2] CIIDIR-Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250 Col. San Joachin. CP. 81100, Guasave, Sinaloa, México.

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo esencial a nivel mundial, especialmente en México, donde se enfrenta a desafíos como el cambio climático, la degradación del suelo y enfermedades fitopatógenas. Este estudio evaluó el impacto de bioestimulantes (*Trichoderma* spp., quitosano y lixiviado de humus) en el crecimiento morfométrico de plantas de maíz cultivadas en invernadero. El experimento, realizado en los ciclos otoño-invierno 2023-2024 y primavera-verano 2024, reveló que la combinación de bioestimulantes promovió un crecimiento superior en comparación con el control, siendo el ciclo otoño-invierno más favorable. Los bioestimulantes incrementaron la biomasa, el volumen radicular y la tolerancia al estrés térmico, demostrando ser una estrategia prometedora para mejorar la productividad del maíz en condiciones adversas.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más producido a nivel mundial y un componente esencial en la alimentación humana, animal y la industria bioenergética. México, centro de origen del maíz y séptimo productor global, tiene en Sinaloa su principal zona productora (SIAP, 2021). No obstante, el cultivo enfrenta desafíos como el cambio climático, la degradación del suelo y las enfermedades fitopatógenas que limitan su rendimiento.

El uso de bioestimulantes representa una alternativa sostenible para mejorar el crecimiento y la tolerancia del maíz frente a condiciones adversas, al favorecer la absorción de nutrientes y activar mecanismos de defensa (Eftekhari et al., 2025). En este contexto, el presente estudio evaluó el efecto de distintos bioestimulantes (*Trichoderma* spp., *qui*tosano y lixiviado de humus) sobre las características morfométricas de plantas de maíz cultivadas en invernadero durante los ciclos primavera–verano y otoño–invierno en Sinaloa, aportando información útil para el manejo biológico y sustentable del cultivo.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en un invernadero ubicado en Guasave, Sinaloa (25.59128° N, -108.48585° O), durante los ciclos otoño-invierno 2023-2024 (del 17 de noviembre al 15 de febrero) y primavera-verano 2024 (del 28 de marzo al 26 de junio). Las semillas de maíz utilizadas fueron del híbrido DK-4050, sembradas a tres centímetros de profundidad del sustrato (suelo aluvión, peat moss y arena 2:1:1) en macetas de polietileno negro. Se usó un diseño completamente al azar con 9 tratamientos y 9 repeticiones, para un total de 81 unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió a una planta de maíz cultivada en una maceta individual. Los tratamientos (Cuadro 1) se aplicaron de forma semanal durante los 90 días que duró el experimento, mientras que el requerimiento hídrico se satisfizo tres veces por semana mediante el suministro de 150 mL de agua potable por maceta. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS®) versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Cuadro 1. *Descripción de tratamientos*

Tratamiento	Descripción
1	$3.9x10^8$ esporas
2	250 µL de Quitosano 7,6 % (RSCO-NEMA-0903Q-X0010-052-7.6
3	250 µl de Humus orgánico líquido BIOJAL
4	$3.9x10^8$ esporas de Trichoderma + 250 µL de Quitosano 7,6 %+250 µL de Humus orgánico líquido BIOJAL
5	$3.9x10^8$ esporas + 250 µL de Quitosano 7,6 %
6	250 µL de Quitosano 7,6 % + 250 µL de Humus orgánico líquido BIOJAL
7	$3.9x10^8$ esporas + 250 µL de Humus orgánico líquido BIOJAL
Agua	150 mL de agua potable
Urea	0.2 g de urea (CAS 57-13-6)

1= Trichoderma; 2=Quitosano; 3=Lixiviado; 4=Trichoderma+Quitosano+Lixiviado; 5=Trichoderma+Quitosano; 6=Quitosano+Lixiviado; 7= Trichoderma+Lixiviado Las variables evaluadas fueron: diámetro y elongación del tallo, volumen radicular y peso seco foliar.

Resultados y discusión

Los tratamientos con lixiviado de humus (3), Trichoderma + quitosano + lixiviado (4), Trichoderma + quitosano (5) y urea (7) registraron las mayores alturas de planta ($p \leq 0.05$), evidenciando un efecto positivo combinado de los bioestimulantes y la fuente nitrogenada. En la elongación del tallo, el tratamiento 4 presentó el valor más alto, seguido de quitosano (2) y Trichoderma + quitosano (5), lo que sugiere una interacción sinérgica entre los bioestimulantes. Para el diámetro del tallo, los tratamientos 4, 5 y 7 mostraron los mayores valores (Cuadro 2), reflejando una mayor robustez estructural asociada al uso de Trichoderma (Csótó et al., 2024).

El volumen radicular mostró sus valores más elevados en los tratamientos 7 (Trichoderma + lixiviado) y urea, sin diferencias significativas entre ellos ($p \leq 0.05$). En contraste, el peso seco foliar fue significativamente superior en el tratamiento 4 (Trichoderma + quitosano + lixiviado), lo que sugiere un efecto positivo de la combinación de bioestimulantes sobre la acumulación de biomasa aérea.

Cuadro 2. *Valores de variables morfométricas en plantas de maíz (Zea mays L.) tratadas con diferentes bioestimulantes en condiciones de invernadero (otoño-invierno 2023-2024).*

Tratamientos	AltP (cm)	EloT (cm)	DiaT (cm)	VolR (ml)	PSF (g)
1	79.8^{cd}	29.81^{c}	0.98^{ab}	20.5^{cd}	2.32^{d}
2	86.4^{ab}	31.54^{ab}	0.97^{ab}	37.2^{a}	2.72^{abc}
3	83.1^{a}	30.15^{bc}	0.92^{b}	23.1^{bc}	2.9^{ab}
4	91.2^{a}	31.87^{a}	1.24^{a}	$25b^{c}$	3.1^{a}
5	89.5^{a}	31.09^{ab}	1.11^{a}	29.8^{ab}	2.89^{ab}
6	82.5^{bc}	30.21^{bc}	0.92^{b}	17.5^{d}	2.43^{cd}
7	86.1^{ab}	39.98^{c}	1.11^{a}	35.6^{a}	2.65^{bcd}
Agua	76.1^{d}	29.52^{d}	0.82^{c}	23.1^{bc}	2.61^{bcd}
Urea	90.4^{a}	30.11^{bc}	0.99^{ab}	34.7^{a}	2.84^{ab}

1= Trichoderma; 2=Quitosano; 3=Lixiviado; 4=Trichoderma+Quitosano+Lixiviado; 5=Trichoderma+Quitosano; 6=Quitosano+Lixiviado; 7= Trichoderma+Lixiviado; AltP=Altura de planta; EloT=Elongación del tallo; DiaT=Diametro del tallo; VolR=Volumen de raíz; PSF=Peso seco foliar

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

En el cuadro 3 se observa que, en la altura de la planta, los tratamientos

1, 2, 4, 5, 6, 7 y urea presentaron los mayores valores ($P \leq 0.05$). Para la elongación del tallo, el tratamiento 5 (Trichoderma + quitosano) mostró la mayor elongación, seguido por los tratamientos 2, 3, 4, 6, 7 y urea, lo que confirma el efecto sinérgico entre Trichoderma y quitosano en el crecimiento vegetativo (Alkahtani et al., 2023).

El diámetro del tallo fue significativamente mayor en los tratamientos 4 y 5, seguidos de Trichoderma (1) y quitosano + lixiviado (6), evidenciando que las combinaciones de bioestimulantes favorecieron una mayor consistencia estructural. En cuanto al volumen radicular, el tratamiento 5 (Trichoderma + quitosano) presentó el valor más alto, reafirmando la capacidad de esta combinación para promover un desarrollo radicular vigoroso.

Por último, en el peso seco foliar, los tratamientos 2, 3, 5, 6, 7 y urea mostraron el mayor peso. Este resultado sugiere que, en condiciones de mayor temperatura y radiación, los tratamientos simples y binarios fueron más eficientes en la acumulación de biomasa aérea.

Cuadro 3. *Valores de variables morfométricas en plantas de maíz (Zea mays L.) tratadas con diferentes bioestimulantes en condiciones de invernadero en primavera-verano 2024.*

Tratamientos	AltP (cm)	EloT (cm)	DiaT (cm)	VolR (ml)	PSF (g)
1	62.9^{a}	7.25^{c}	0.73^{ab}	13.0^{ab}	0.56^{c}
2	58.6^{a}	9.17^{ab}	0.65^{bc}	10.7^{ab}	0.85^{a}
3	47.4^{ab}	9.11^{ab}	0.66^{bc}	12.9^{ab}	0.84^{a}
4	68.3^{a}	7.83^{bc}	0.75^{a}	11.0^{ab}	0.72^{ab}
5	69.6^{a}	9.43^{a}	0.76^{a}	16.7^{a}	0.86^{a}
6	67.4^{a}	8.86^{ab}	0.70^{ab}	15.0^{ab}	0.83^{a}
7	56.6^{a}	9.13^{ab}	0.66^{b}	11.3^{ab}	0.94^{a}
Agua	44.4^{b}	7.51^{c}	0.59^{c}	7.5^{c}	0.39^{c}
Urea	59.3^{a}	8.97^{ab}	0.71^{ab}	15.0^{ab}	1.0^{a}

1= Trichoderma; 2=Quitosano; 3=Lixiviado; 4=Trichoderma+Quitosano+Lixiviado; 5=Trichoderma+Quitosano; 6=Quitosano+Lixiviado; 7= Trichoderma+Lixiviado; AltP=Altura de planta; EloT=Elongación del tallo; DiaT=Diametro del tallo; VolR=Volumen de raíz; PSF=Peso seco foliar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

En conjunto, los resultados obtenidos en ambos ciclos agrícolas muestran que los tratamientos con bioestimulantes, particularmente las combinacio-

nes de Trichoderma y quitosano, así como su integración con lixiviado de humus, favorecieron de manera consistente el crecimiento y desarrollo del maíz, reflejándose en mayores valores de altura de planta, diámetro de tallo y volumen radicular. Durante el ciclo otoño–invierno, las mezclas ternarias mostraron los efectos más notorios sobre la biomasa aérea, mientras que en primavera–verano, bajo condiciones de mayor temperatura y radiación, los tratamientos simples y binarios mantuvieron una respuesta positiva en las variables morfométricas evaluadas. Estos resultados confirman el potencial de los bioestimulantes microbianos y orgánicos como alternativas sostenibles para mejorar el rendimiento fisiológico y estructural del maíz, aportando evidencia útil para su manejo agronómico en diferentes condiciones estacionales.

Figura 1. *Volumen radicular en plantas de maíz expuestas a bioestimulantes durante la temporada otoño-invierno 2024-2025. A) Trichoderma, B) Quitosano, C) Lixiviado D) Trichoderma + Quitosano, E) Trichoderma + Lixiviado, F) Trichoderma + Quitosano + Lixiviado, G) Agua, H) Urea.*

Figura 2. *Volumen radicular en plantas de maíz expuestas a bioestimulantes durante la temporada primavera-verano 2024. A) Trichoderma, B) Quitosano, C) Lixiviado, D) Trichoderma + Quitosano, E) Trichoderma + Lixiviado, F) Trichoderma + Quitosano + Lixiviado, G) Agua, H) Urea.*

Conclusiones

En el presente estudio, la combinación de Trichoderma y quitosano mostró el mayor efecto sinérgico sobre el crecimiento vegetativo del maíz, destacando en elongación del tallo, volumen radicular y diámetro del tallo, en comparación con los tratamientos individuales y la fertilización con urea. Estos resultados evidencian su potencial como bioestimulante efectivo y sostenible para optimizar la robustez estructural y la acumulación de biomasa del cultivo bajo las condiciones evaluadas en invernadero, constituyéndose en una alternativa prometedora para el manejo agronómico en diferentes ciclos agrícolas.

Referencias

Alkahtani, M. D., Alqarawi, A. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., y Egamberdieva, D. (2023). *Synergistic effects of Trichoderma harzianum and chitosan on maize growth and stress tolerance.* Plants, 12(7). https://doi.org/10.3390/plants12071543

Csótó, A., Tóth, G., Riczu, P., Zabiák, A., Tarjányi, V., Fekete, E., Karaffa, L., y Sándor, E. (2024). F*oliar spraying with endophytic Trichoderma biostimulant increases drought resilience of maize and sunflower.* Agriculture, 14(12). https://doi.org/10.3390/agriculture14122360

Eftekhari, F., Sarcheshmehpour, M., Lohrasbi-Nejad, A. et al. (2025). *Effects of mycorrhizal and Trichoderma treatment on enhancing maize tolerance to salinity and drought stress, through metabolic and enzymatic evaluation.* BMC Plant Biol 25. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06729-x

SIAP / Gobierno de México (2021). *Maíz, cultivo de México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.* https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/maiz-cultivo-de-mexico

Capítulo **45**

Sensibilidad *in vitro* a metil tiofanato de aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* causante del moho blanco en frijol

Pérez Mora Juan Luis[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[100*]
López Valenzuela Blanca Elvira[100]
Ayala Armenta Quintín Armando[100]
Rábago Zavala Karen[100]
García León Elizabeth[2]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa- Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte.* fernando.vzla@favf.mx.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Resumen

El frijol (Phaseolus vulgaris) es un cultivo esencial a nivel global. En México, la producción en 2024 alcanzó 996,392.77 t, liderada por Zacatecas (34 %), Sinaloa (17 %) y Nayarit (7 %). No obstante, enfrenta desafíos fitosanitarios como el moho blanco (Sclerotinia sclerotiorum), que reduce rendimientos. Este estudio evaluó in vitro la sensibilidad de 16 aislados de S. sclerotiorum al metil tiofanato. Los resultados mostraron una marcada variabilidad: a 5-7.5 $\mu g\ mL^{-1}$, la inhibición micelial fue significativa (42-27 %), pero aislados como F-15 y F-16 evidenciaron resistencia, mientras F-2 y F-6 fueron altamente susceptibles. Esta variabilidad sugiere posibles mecanismos genéticos de resistencia. Se confirma la eficacia del fungicida, pero la detección de aislados resistentes en Sinaloa resalta la necesidad de un manejo integrado con rotación de fungicidas, prácticas culturales y monitoreo para asegurar sostenibilidad.

Introducción

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) es de gran importancia mundial, con producción y consumo en numerosos países. En México, la producción de frijol en 2024 alcanzó 996 392.77 toneladas, siendo Zacatecas el principal estado productor con el 34 % de la producción nacional, seguido por Sinaloa (17 %) y Nayarit (7 %) (DGSIAP, 2024). Este cultivo enfrenta diversos problemas fitosanitarios, entre los cuales destaca el moho blanco, causado por el hongo Sclerotinia sclerotiorum. Bajo condiciones favorables, el patógeno provoca síntomas en ramas, hojas, flores y vainas, generando ablandamiento del tejido vegetal y crecimiento de micelio algodonoso. Cuando el tejido muere, se forman estructuras de resistencia negras llamadas esclerocios, lo que afecta la productividad del cultivo (Elsheshtawi et al., 2017). Diversos estudios han documentado la pérdida de sensibilidad al metil tiofanato en patógenos como *Botrytis cinerea*, *Fusarium* spp. y *Sclerotinia sclerotiorum*, lo que evidencia el riesgo de que un uso continuo sin rotación de modos de acción

acelere la selección de poblaciones resistentes. En este contexto, el presente estudio evaluó la sensibilidad *in vitro* de aislados de *S. sclerotiorum* frente a metil tiofanato, con el objetivo de generar información para monitorear la resistencia del patógeno y desarrollar estrategias de manejo más eficientes. Estos resultados pueden contribuir a reducir el impacto de la enfermedad y asegurar una producción de frijol sostenible y rentable (Lehner et al., 2017; Nieto-Lopez et al., 2023).

Materiales y métodos

Origen de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum*

Durante el ciclo agrícola 2022-2023 en Sinaloa se recolectaron muestras sintomáticas de moho blanco en predios comerciales de frijol. Se obtuvieron trozos de 5 mm, desinfestados con hipoclorito de sodio al 1 %, secados en papel absorbente estéril y colocados en cajas Petri con PDA + estreptomicina (100 μg mL^{-1}) bajo condiciones asépticas. Las cajas se incubaron a 28°C por 24 h; posteriormente se aislaron puntas de hifas para obtener colonias monohifales, que fueron transferidas a PDA para su conservación y uso posterior. A cada aislamiento obtenido se le asignó un código alfanumérico (F-1, F-2, F-3 hasta F-16) para su identificación individual durante los bioensayos y análisis estadísticos.

Sensibilidad *in vitro* de *Sclerotinia sclerotiorum* a productos químicos

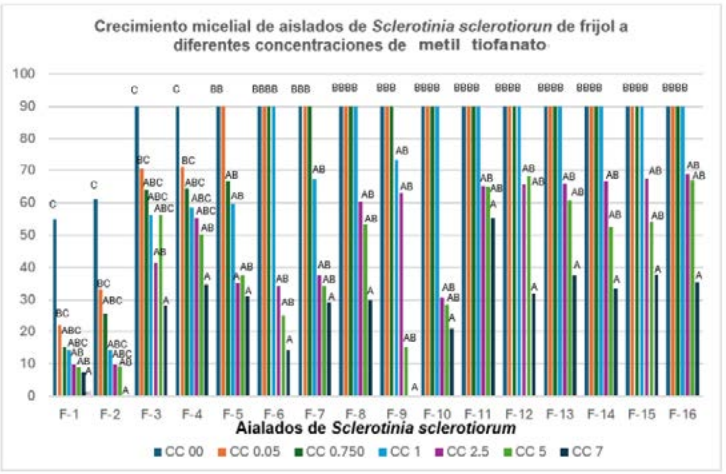
De acuerdo con estudios previos (Lehner et al., 2017) y tomando como referencia la dosis comercial utilizada en campo, se seleccionaron concentraciones de 0.05, 0.75, 1, 2.5, 5 y 7.5 μg mL^{-1} para evaluar la sensibilidad de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* frente a metil tiofanato. Se sembraron discos de 5 mm de micelio en cada tratamiento, con cajas sin fungicida como testigo, e incubación a 25 °C ± 2 en oscuridad, registrando el crecimiento en mm cada 24 h durante 72 h. El ensayo se diseñó completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los datos de crecimiento se

transformaron a raíz cuadrada para homogeneizar varianzas (Little y Hills, 1989) y se analizaron mediante ANDEVA, evaluando diferencias entre medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) usando Infostat.

Resultados

En los resultados obtenidos en este estudio, se evidencia la sensibilidad de *Sclerotinia sclerotiorum* a metil tiofanato, que presenta una marcada variabilidad entre aislados, lo que coincide con lo reportado por Nieto-López et al. (2023) y Silva-Rhaphael et al. (2024). El análisis de sensibilidad *in vitro* de 16 aislados de *S. sclerotiorum* al fungicida metil tiofanato mostró una respuesta diferencial en función de la concentración aplicada (Figura 1).

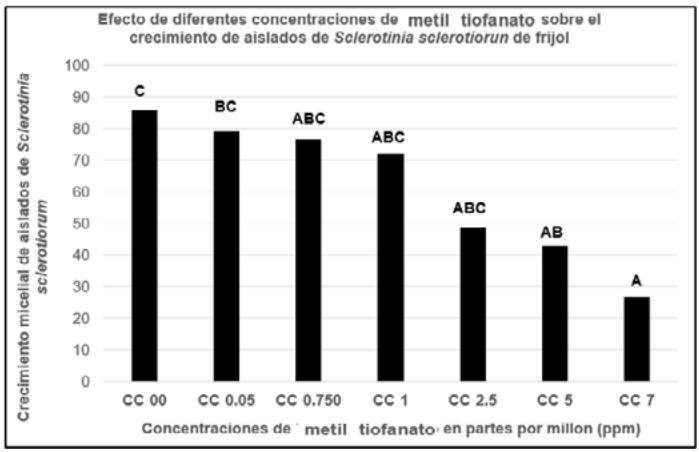
Figura 1. *Comparación del crecimiento micelial de aislados de Sclerotinia sclerotiorum de frijol a diferentes concentraciones de Metil tiofanato. Prueba de Tukey. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P > 0.05).*



En el tratamiento control (0 μg mL^{-1}), la mayoría de los aislados presentó un crecimiento micelial del 100 %, excepto dos que mostraron desarrollo más lento (87 %). Esta discrepancia en testigo puede explicarse por variabilidad biológica intrínseca entre aislados. A bajas concentraciones (0.75 y 1 μg mL^{-1}), la inhibición fue limitada, con promedios superiores al 90 %; no obstante, aislados como F-1 y F-2 mostraron reducciones tempranas desde 1 μg mL^{-1}

(14.21 mm). Por su parte, F-15 y F-16 conservaron los valores más altos de crecimiento, evidenciando menor sensibilidad al fungicida. Estas diferencias entre aislados coinciden con lo reportado por Lehner et al. (2015), quienes atribuyen la variabilidad a la heterogeneidad genética de las poblaciones de Sclerotinia sclerotiorum y a procesos adaptativos vinculados a condiciones ambientales específicas. A 2.5 μg mL^{-1} se observó una inhibición promedio cercana al 49 % (Gráfica 3). En las concentraciones de 5 y 7.5 μg mL^{-1}, el crecimiento micelial se redujo significativamente, con valores de 42 % y 27 %, lo que confirma la eficacia del ingrediente activo. Este comportamiento coincide con lo indicado por Lehner et al. (2015) y Silva et al. (2024), quienes establecieron 5 μg mL^{-1} como dosis discriminatoria para evaluar resistencia o sensibilidad de aislados en Brasil. El análisis estadístico (ANDEVA) y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) evidenciaron diferencias significativas entre el control y las concentraciones más altas, mientras que 0.75, 1 y 2.5 μg mL^{-1} mostraron efecto intermedio, respaldando estrategias de manejo enfocadas en mitigar resistencia y minimizar el impacto ambiental (Figura 2).

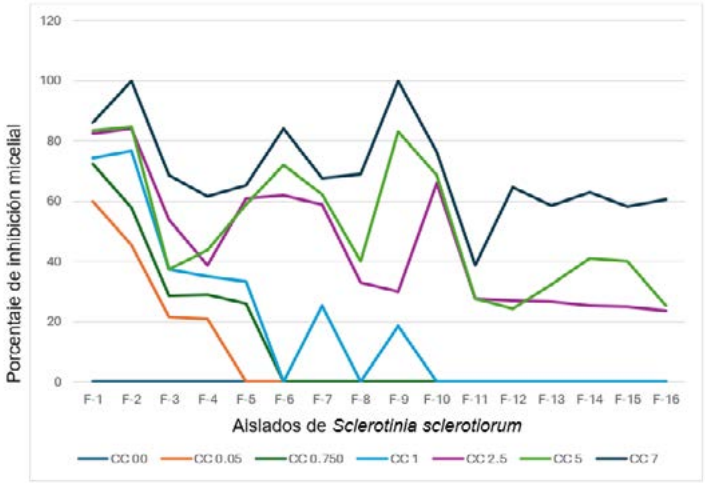
Figura 2. *Efecto de diferentes concentraciones de metil tiofanato sobre el crecimiento de aislados de Sclerotinia sclerotiorum de frijol. Prueba de Tukey. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P > 0.05).*



El análisis individual de los aislados (Figura 3) mostró una marcada variabilidad en la respuesta genética. Los aislados F-3, F-4, F-13, F-14, F-15 y F-16 crecieron en todas las concentraciones, evidenciando resistencia, mientras que

F-2, F-6 y F-9 resultaron los más susceptibles, con inhibiciones de hasta el 100 %. Estos hallazgos concuerdan con Silva et al. (2024), quienes reportaron aislados con resistencia genética a dosis discriminatorias, lo que confirma la variabilidad genética de Sclerotinia sclerotiorum en cultivos de frijol.

Figura 3. *Evaluación del porcentaje de inhibición micelial de los aislados de Sclerotinia sclerotiorum a diferentes concentraciones de metil tiofanato.*



El presente estudio no incluyó caracterización molecular. Sin embargo, los patrones fenotípicos observados en algunos aislamientos, como crecimiento sostenido en concentraciones elevadas de metil tiofanato, son consistentes con perfiles previamente descritos para aislamientos resistentes. En particular, la resistencia a benzimidazoles, incluido el metil tiofanato, ha sido asociada con mutaciones puntuales en los codones 198, 200 o 240 del gen de la β-tubulina (Yang et al., 2004; Lehner et al., 2015). La confirmación de estos mecanismos requerirá análisis moleculares en estudios futuros.

Conclusiones

A pesar de que el metil tiofanato conserva eficacia contra *S. sclerotiorum*, la detección de aislamientos resistentes en Sinaloa resalta la necesidad de un manejo integrado, basado en la rotación de fungicidas, prácticas culturales

y monitoreo constante, a fin de preservar su efectividad y asegurar la sostenibilidad de la producción de frijol en la región.

Referencias

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Anuario estadístico de la producción agrícola: Cierre de la producción agrícola*. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Elsheshtawi, M., Elkhaky, M. T., Sayed, S. R., Bahkali, A. H., Mohammed, A. A., Gambhir, D., Mansour, A. S., y Elgorban, A. M. (2017). *Integrated control of white rot disease on beans caused by Sclerotinia sclerotiorum using Contans® and reduced fungicide application*. Saudi Journal of Biological Sciences, 24(2), 405–409. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.038

Lehner, M. S., Paula Júnior, T. J., Del Ponte, E. M., Silva, C. N., Mizubuti, E. S. G., y Pethybridge, S. J. (2017). *Comparing the fungicide sensitivity of Sclerotinia sclerotiorum using mycelial growth and ascospore germination assays*. Plant Disease, 101(6), 986–995. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-16-0971-RE

Lehner, M. S., Paula Júnior, T. J., Silva, R. A., Vieira, R. F., Carneiro, J. E. S., Schnabel, G., y Mizubuti, E. S. G. (2015). *Fungicide sensitivity of Sclerotinia sclerotiorum: A thorough assessment using discriminatory dose, EC50, high-resolution melting analysis, and description of new point mutation associated with thiophanate-methyl resistance*. Plant Disease, 99(11), 1537–1543. https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0268-RE

Little, T. M., y Hills, F. J. (1989). *Agricultural experimentation: Design and analysis*. Wiley-Interscience.

Nieto-Lopez, M., Bradley, C. A., Chilvers, M. I., Mueller, D. S., Smith, D. L., y Kelly, H. M. (2023). *Fungicide sensitivity of Sclerotinia sclerotiorum from U.S. soybean and dry bean, compared to different regions and climates*. Plant Disease, 107(3), 699–709. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1707-RE

Silva, R. A., Lehner, M. S., Paula Júnior, T. J., y Mizubuti, E. S. G. (2024). *Fungicide sensitivity of isolates of Sclerotinia sclerotiorum from different hosts and regions in Brazil and phenotypic instability of thiophanate-methyl resistant iso-*

lates. Tropical Plant Pathology. https://doi.org/10.1007/s40858-023-00629-x

Yang, J., Pan, Y., Zhu, G., y Zhou, Y. (2004). *The resistance mechanisms of Sclerotinia sclerotiorum to carbendazim and diethofencarb*. Acta Phytophysica Sinica, 31(1), 74–78.

Capítulo **46**

Caracterización de los daños de *Platynota* sp. (*Lepidóptera: tortricidae*) en arándano mediante muestreo secuencial

González Vega Jesús Adrián[1]
Ruiz Ramírez Jesús Fortunato[1]
López Valenzuela Blanca Elvira[1]
Ramírez Ahuja María de Lourdes[2]
García Gutiérrez Cipriano[3]
López Bautista Everardo[1*]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Calle 16 Av. Japaraqui, 81110, Juan José Ríos, Sinaloa.*everardolob@uas.edu.mx.
[2] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Av. Universidad s/n Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. 66455, México.
[3] Instituto Politécnico Nacional. COFAA. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Guasave, Sinaloa.

Resumen

El cultivo de arándano en Sinaloa enfrenta el ataque de diversas plagas, entre ellas *Platynota* sp., cuyo conocimiento se limita en la región. El objetivo de la presente propuesta de investigación fue determinar los daños ocasionados por *Platynota* sp. mediante muestreo secuencial, realizado en áreas comerciales de arándano ubicadas en Ahome y Guasave, durante el ciclo agrícola octubre-mayo 2024-2025. El muestreo secuencial se desarrolló en diferentes etapas fenológicas del cultivo, registrando daños en hojas, flores y frutos. Las variedades fueron "Rosita y Rocío". Las muestras de daños de las larvas recolectadas se mantuvieron en condiciones controladas de laboratorio hasta la emergencia de los adultos. Los especímenes obtenidos se fotografiaron con cámara Canon EOS T7 y se identificaron mediante claves taxonómicas (Powell y Brown, 2012). Los resultados documentan los órganos vegetales afectados y confirman la identidad taxonómica de la plaga, aportando información relevante para comprender la magnitud del daño en el cultivo.

Introducción

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) ocupa el cuarto lugar entre las frutillas de importancia económica global, debido a su alto contenido de antioxidantes (Salgado-Vargas et al., 2018). México se ha posicionado como el quinto productor mundial de este cultivo (FAOSTAT, 2023). En 2024, Sinaloa alcanzó una producción de 26 286 toneladas, concentrándose el 65 % de este volumen en el Valle del Fuerte (SIAP, 2024).

El incremento de la superficie cultivada ha favorecido la incidencia de plagas, limitando la calidad y el rendimiento (Álvarez, 2018). Los lepidópteros son uno de los grupos más diversos de plagas agrícolas, donde destacan las familias como Noctuidae, Yponomeutidae y Tortricidae, consideradas plagas de gran impacto económico en frutillas (Bautista, 2023; Calvo y Molina, 2011).

A nivel internacional, diversas especies de tortrícidos se han registrado en arándanos, incluyendo el género de *Platynota* (Galvan, 2022; Rocca y Brown, 2013). Estas especies presentan un amplio rango de hospederos, caracterizados por hábitos fitófagos y frugívoros (Korycinska et al., 2024). El daño ocasionado por las larvas incluye raspaduras en hojas y frutos, enrollamiento foliar y afectación de estructuras reproductivas (Velásquez et al., 2025). Ante esta problemática, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar los daños ocasionados por *Platynota* sp. en plantaciones de arándano en el norte de Sinaloa, mediante la aplicación de un enfoque de un muestreo secuencial.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en Sinaloa, en los municipios de Ahome y Guasave, específicamente en dos unidades de producción: zona de estudio Frute (25°45'16.13"N, -108°56'12.97"O) y Horti (25°44'12.71"N, -108°45'9.17"O). Los muestreos secuenciales se realizaron de octubre a mayo (2024-2025). Se aplicó la metodología de muestreo secuencial de tipo binomial con distribución espacial agregada de *Platynota* sp. De las plantas seleccionadas al azar y que presentaban síntomas de daño, se recolectaron muestras durante las etapas fenológicas vegetativa, floración y fructificación, considerando hojas, yemas y frutos del cultivo.

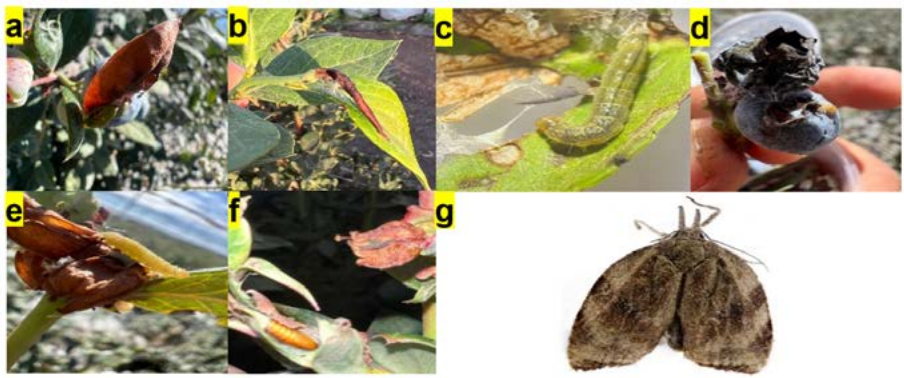
Cada muestra fue colocada individualmente en recipientes ventilados de polietileno y bolsas de papel. Las larvas recolectadas se mantuvieron en recipientes de plástico de 60 mL, alimentadas diariamente con hojas y frutos frescos de arándanos. El material fue trasladado al Laboratorio de Enseñanza y Diagnóstico Fitosanitario de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte para su análisis. Los especímenes emergidos fueron fotografiados con cámara Canon EOS T7 y posteriormente identificados mediante claves taxonómicas (Powell y Brown, 2012).

Resultados y discusión

Los muestreos secuenciales confirmaron la presencia predominante de *Platynota* sp. (Tortricidae) con distribución espacial agregada. Se registra-

ron daños característicos en hojas apicales y centrales enrolladas en forma de cuchara (Figura 1a), en algunos casos con muerte apical (Figura 1b). En frutos, se observaron raspaduras y pudriciones asociadas a las larvas (Figura 1d). Las sedas producidas por las larvas causaron atrofia de yemas florales, limitando la capacidad reproductiva del cultivo (Figura 1e). Las larvas alcanzaron longitudes de 12-15 mm en su último instar, aprovechando este tamaño para enrollarse en el follaje y continuar su siguiente estado biológico bajo esta condición (Figura 1f). El adulto presentó una longitud de 8-13 mm con características propias de la especie de estudio (Figura 1g). El análisis comparativo de los muestreos secuenciales indicó que la mayor incidencia de la plaga se concentró en las fases de floración y fructificación, coincidiendo con la mayor susceptibilidad de estructura reproductiva y frutos en desarrollo.

Figura 1. *(a) hoja central enrollada en forma de cuchara, (b) muerte apical en hojas (c) larva en parte vegetativa, (d) larva en fruta de arándano (e) yema floral atrofiada por seda de larva, (f) pupa de Platynota sp, (g) adulto de Platynota sp.*



Resultados similares de Galván (2022) citaron a P. stultana en arándano con síntomas de muerte apical. Velásquez et al. (2025) describieron que las etapas de brotación y fructificación son las más vulnerables al ataque de este género en Perú. En el presente estudio se corroboró una mayor incidencia de daños en floración y fructificación, lo que confirma que dichas fases representan puntos críticos para el establecimiento de umbrales de acción y estrategias de manejo integrado.

Conclusiones

El muestreo secuencial de tipo binomial aplicado en este estudio se confirmó como una herramienta estadísticamente robusta y eficiente para evaluar la presencia y los daños de Platynota sp. en arándano en Sinaloa. Aun en ausencia de datos cuantitativos de densidad poblacional, permitió identificar los órganos más afectados y las fases fenológicas críticas, lo que aporta evidencia científica sobre la biología de la plaga y su impacto potencial en la productividad del cultivo.

Referencias

Álvarez, A. B. (2018). *El cultivo de Arándano (Vaccinium corymbosum) y su proyección en Colombia.* Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ingeniería Agronómica.

Calvo, D., y Molina, J. M. (2011). *Insectos asociados al cultivo del arándano en Andalucía Occidental.* IFAPA, 66-70.

FAOSTAT. (2023). Producción de arandanos: los 10 productores principales. FAO.

Galván, I. R. (2022). *Identificación y Biología de Lepidópteros en frutillas: Tesis Doctoral.* Colegio de Postgraduados. https://doi.org/http://hdl.handle.net/10521/4923

Korycinska, A., Eyre, D., y Linay, A. (2024). *Omnivorous leafroller Platynota stultana.* Departament for Environment Food y Rural Affairs, 2.

Bautista, N. M. (2023). *Insectos y Ácaros de Importancia Agrícola en Mexíco.* Colegio de Postgraduados. https://doi.org/978-607-715-459-4

Powell, J. A., y Brown, J. W. (2012). *Tortricidea Tortricida (Part 1).* The wegde entomological research foundation , 1.

Rocca, M., y Brown, J. W. (2013). *New host records for four species of Tortricid moths (Lepidoptera: Tortricidae) On Cultivated Blueberries, Vaccinium Corymbosum (Ericaceae), In Argentina.* Proc. Entomol. Soc. Wash, 2(115), 167–172. https://doi.org/10.4289/0013-8797.115.2.167

Salgado-Vargas, C., Sánchez-García, P., Volke-aller, V. H., y M. T. (2018). *Respuesta Agronómica de Arandano (Vaccinium corymbosum L.) al estres osmotico.* Agrociencia, 52(2), 231-239.

SIAP. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola.* Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Velasquez, R., Leiva, A. M., Gil-Ordóñez, A., Perez-Fuentes, L. S., Domínguez, V., y Cuellar, W. J. (2025). *An emerging Platynota sp. (Lepidoptera: Tortricidae) infesting blueberry (Vaccinium corymbosum) in the central coast of Peru.* Frontiers in insect Science, 5(5), 1-12. https://doi.org/https://doi.org/10.3389/finsc.2025.1593907.

Capítulo **47**

Etiología de la muerte descendente del arándano (*Vaccinium corymbosum*) en el norte de Sinaloa, México

González Molotla Iris Alejandrina[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[105*]
López Valenzuela Blanca Elvira[105]
Ayala Armenta Quintín Armando[105]
Rabago Zavala Karen[105]
Beltrán Peña Hugo[105]
Acosta Rodríguez José Luis[2]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 S/N Ave. Japaraqui, Juan José Ríos, Sinaloa, México. C.P. 81110. *fernando.vzla@favf.mx.
[2] Departamento Inocuidad Agroalimentaria, Instituto Politécnico Nacional-IPN, Unidad Sinaloa. Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250. Guasave, Sinaloa, CP 81101, México.

Resumen

La muerte descendente del arándano es una enfermedad presente en las regiones donde este se cultiva y se propagó posterior a la poda que se realiza después del trasplante y la cosecha, para mantener la calidad del fruto y longevidad de las plantas en los diferentes sistemas de cultivo. El objetivo del presente estudio fue identificar mediante técnicas morfológicas y moleculares al agente causal de la muerte descendente del arándano y evaluar su patogenicidad in planta. Se recolectaron muestras de tallos sintomáticos de cinco huertos comerciales, los cuales fueron procesados mediante técnicas de rutina, sembradas en PDA y purificadas por punta de hifa; se obtuvieron seis aislados fúngicos identificados por morfología y filogenia. Estos aislados fueron inoculados en plantas sanas de arándano variedad Biloxi, para evaluar su patogenicidad; se confirmaron los postulados de Koch por el reislamiento de los aislados de origen. Los análisis morfológicos de estos aislados determinaron el género Lasiodiplodia asociado a la muerte descendente del arándano; y de acuerdo al análisis filogenético, de ITS, β-tubulina y EF1-α, se logró la identificación de Lasiodiplodia subglobosa. Esta especie resultó patogénica en arándano variedad Biloxi, con diferentes grados de virulencia, ya que la longitud de la lesión en tallo varió de 0.45 a 12.20 cm. Estos resultados abren nuevas líneas de investigación respecto al impacto de este patógeno sobre otros frutales de interés económico en la región.

Introducción

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), originario del hemisferio norte, ha trascendido su región de origen y fue introducido en México en 1996. Desde entonces, este cultivo ha experimentado un crecimiento casi exponencial, con un aumento estimado del 800 % en la última década (González-Razo et al., 2019). Actualmente, México ocupa el quinto lugar en

producción a nivel mundial, con un volumen de 66 893.02 t (FAOSTAT, 2024); a nivel nacional, Sinaloa se posiciona como el segundo estado productor, con un volumen de 13 240 t y un rendimiento de 18.26 t ha^{-1} (SIAP, 2024). Al igual que otros frutales, el arándano se ve afectado por enfermedades, siendo las de mayor relevancia los llamados "hongos de la madera", entre los que se encuentran: Diplodia, *Dothiorella*, *Neofusicoccum* y *Lasiodiplodia*, los cuales pueden presentarse de forma individual o en asociaciones complejas dentro de la planta (Morales, 2017). En los últimos años, se ha observado un incremento en la incidencia de enfermedades como cancros y muerte regresiva, asociadas a especies de la familia Botryosphaeriaceae, que incluye aproximadamente 300 especies con comportamientos fitopatógenos, saprobios y endofíticos (Slippers et al., 2017). *Lasiodiplodia* puede ingresar a la planta a través de heridas o aberturas naturales; una vez dentro del huésped, pueden permanecer en estado endofítico durante largos periodos y activarse como necrotróficos cuando la planta se encuentra bajo condiciones de estrés, por sequía, daño físico, encharcamiento o congelación. La detección de estas especies en nuevas regiones geográficas sugiere que los miembros de esta familia están ampliamente distribuidos a nivel global, favorecidos por la expansión del comercio agrícola, lo cual representa una amenaza para los agroecosistemas (Netto et al., 2017). En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue identificar, mediante técnicas morfológicas y moleculares, al agente causal de la muerte descendente del arándano en el norte de Sinaloa, así como evaluar su patogenicidad *in planta* para confirmar su papel en la enfermedad.

Materiales y métodos

El área de estudio comprendió cinco huertos comerciales de arándano, al norte de Sinaloa, en los municipios de Ahome, El Fuerte y Guasave, durante el ciclo otoño-invierno 2021, y se tomaron 10 tallos sintomáticos por lote. Los aislamientos fúngicos se realizaron en agua-agar (AA); la purificación se realizó al transferir puntas de hifas a papa-dextrosa-agar (PDA), incubándose a 25 ± 2 °C por 72 h. Los aislados puros se conservaron en ADTE (agua destilada tres veces estéril), en papel filtro y en glicerol al 10 % a 4°C. Se realizaron disecciones de picnidios maduros extraídos de los

aislados de 30 días de edad para observar paráfisis picnidiales y características de los conidios maduros; se determinó la forma, número de septos, la longitud y ancho en 40 conidios de cada aislado (Slippers et al., 2017). Se probó la patogenicidad de seis aislados representativos en plantas sanas de arándano variedad Biloxi de dos años de edad. La inoculación se realizó con el método de disco de micelio en tallo (O'Gara et al., 1996). Se emplearon tres repeticiones por aislamiento y un testigo absoluto sin inocular, con un diseño completamente al azar. Las plantas se mantuvieron en condiciones normales de luz y temperatura. La patogenicidad de los aislados se determinó 30 días después de la inoculación, evaluando la longitud de la lesión (De la Mora-Castañeda et al., 2007).

Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA con el procedimiento de Tukey. Para el análisis de los datos se utilizó el programa IBM SPSS 26 Statistics. Para la identificación molecular se emplearon seis aislados representativos correspondientes al género Lasiodiplodia. La extracción de ADN se realizó siguiendo los lineamientos del protocolo del kit CTAB SYNERGY™ 2.0; y se amplificaron algunas regiones del genoma: ITS1- (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') e ITS4- (5'-TCCTCC GCTTATTGATATGC-3'); parte de factor de elongación (tef1-α) EF1-688 (5'-CGGTCACTT GATCTACAAGTGC-3') y EF1-1251R (5´-CCTCGAACTCACCAGTACCG); y el gen de la β-tubulina βt2a (5'- GGTAACCAAATCGGTGCTGCTTTC -3') y βt2b (5'- ACCCTCAGTGTAGTGA CCCTTGGC -3') (Santillán et al., 2024). La purificación de productos de PCR se realizó siguiendo el protocolo QIAquick PCR Purification Kit (250). Los 18 amplicones resultantes fueron analizados por electroforesis en un gel de agarosa-TAE 1X al 2 y 0,8 % teñido con tinte ADN SYBR™. La secuenciación se realizó en el Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. con el método de didesoxinucleótidos. Para los estudios filogenéticos, se realizó la búsqueda ortopédica usando un script de Biopython con NCBIWWW (valor p de 1E-20). La asignación de especie fue considerando los diez resultados más estrechamente relacionados y ordenados por preferencia con el valor mínimo de BLAST (umbral mínimo de 98 % de cobertura y un 98,5 % de identidad) con una secuencia de referencia.

Resultados y discusión

Las características fenotípicas de los aislados obtenidos permitieron su ubicación en el género Lasiodiplodia; los seis aislados representativos evaluados resultaron patogénicos en arándano. Los síntomas observados consistieron en lesiones necróticas que se extendían desde el sitio de inoculación hacia la base del tallo, pero con variación en el grado de virulencia. Esto coincide con lo previamente reportado para Lasiodiplodia subglobosa por Machado et al. (2014) y Poletto et al. (2016), donde los tallos más afectados fueron los inoculados con el aislado Ld-01 y los menos dañados los inoculados con el aislado Ld-05; el tratamiento control no mostró síntomas de la enfermedad durante el tiempo que duró el experimento. Los aislados de *Lasiodiplodia* se recuperaron de manera consistente de las ramas inoculadas; en contraste, no se aisló ninguna especie de *Lasiodiplodia* de las plantas control, cumpliendo así con los postulados de Koch. Las secuencias de la región completa de ITS fueron depositadas en la base de datos GenBank con los números de acceso: PQ587535; PQ587536; PQ587537; PQ587538; PQ587539 y PQ587540.

El análisis comparativo de las secuencias en la base de datos del GenBank mostró altos porcentajes de similaridad con *Lasiodiplodia subglobosa* (MG870580.1 y 99.81 % de identidad) con un soporte Bootstrap del 90 %. Asimismo, las secuencias del gen parcial de β-tubulina (tub2) confirmaron la identidad de los aislados, mostraron altos porcentajes de identidad para *L. subglobosa* (número de acceso MH279917.1 con un 100 % de identidad) y un soporte Bootstrap del 97 %. El análisis del gen del factor de elongación tef1-α (EF1-688 y EF1-1251R) mostró altos porcentajes de identidad para *L. subglobosa*, con los siguientes números de acceso y porcentajes de identidad: MK681680.1 (99,77 %), MG870572.1 (99,33 %), MH286539.1 y MK681700.1 (ambos con un 99,78 %). Como resultado del análisis heurístico de las tres regiones, se obtuvo un superárbol, en el que se ubican los diferentes aislados como *Lasiodiplodia subglobosa* con porcentajes de identidad que van del 99,33 al 100 %.

En México, Bautista-Cruz en 2019 identificó a *L. subglobosa* como la especie de mayor virulencia en plantas jóvenes de limón persa, lo que coincide con los hallazgos del presente estudio, en el que se identifica a *L. subglobosa* como agente causal de la muerte descendente del arándano en el norte de

Sinaloa. Este constituye el primer reporte en México que vincula a *Lasiodiplodia subglobosa* en la etiología de la muerte descendente del arándano (*Vaccinium corymbosum*).

Conclusiones

Se identificó a *Lasiodiplodia subglobosa* como agente causal de la muerte descendente del arándano en el norte de Sinaloa, lo que representa una contribución significativa al conocimiento fitopatológico del cultivo y plantea implicaciones importantes para su manejo sanitario en la región. Los resultados abren nuevas líneas de investigación relacionadas con la posible afección de *L. subglobosa* hacia otros frutales de importancia económica en el estado.

Referencias

Bautista-Cruz, M.A., Almaguer-Vargas, G., Leyva-Mir, S.G., Colinas-León, M.T., Correia, K.C., Camacho-Tapia, M., Robles-Yerena, L., Michereff, S.J. y Tovar-Pedraza, J.M. (2019). *Phylogeny, Distribution, and Pathogenicity of Lasiodiplodia Species Associated With Cankers and Dieback Symptoms of Persian Lime in Mexico.* https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-1036-RE

De la Mora-Castañeda, J.G., Cibrián-Tovar, D., Omar A. y Pérez-Vera, O.A. (2014). *Neofusicoccum eucalyptorum (=Botryosphaeria eucalyptorum) Y N. parvum: Patógenos en plantaciones de eucalipto en méxico. División de Ciencias Forestales.* Departamento de Ecología y Silvicultura, Universidad Autónoma Chapingo. 187-197.

FAOSTAT. (2024). *Datos sobre alimentación y agricultura.* https://www.fao.org/faostat/es/#data

González-Razo, F.J., Rebollar-Rebollar, S., Hernández-Martínez, J., Morales-Hernández, J.L., y Ramírez-Abarca, O. (2019). *Situacion actual y perspectivas de la producción de berries en México.* Revista Mexicana de Agronegocios. 44. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C.. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14161295012

Machado, A.R., Pinho, D.B. y Pereira, O.L. (2014). *Filogenia, identificación y patogenicidad de las Botryosphaeriaceae asociadas a la pudrición del cuello y la raíz*

de la planta de biocombustibles Jatropha curcas en Brasil, con una descripción de nuevas especies de Lasiodiplodia. Diversidad fúngica. 67(1), 231-247

Morales, A.C.G. (2017). *Manual de manejo agronómico del arándano.* Instituto de Desarrollo Agropecuario- Instituto de Investigación Agropecuaria. Boletin INIA 6.

Netto, M. S. B.; Lima, W. G.; Correia, K. C.; Da Silva, CH. F. B.; Thon, M.; Martins, R. B.; Miller, R. N. G.; Michereff, S. J. y Camara, M. P. S. (2017). *Analysis of phylogeny, distribution, and pathogenicity of Botryosphaeriaceae species associated with gummosis of anacardium in Brazil, with a new species of Lasiodiplodia.* Fungal Biol. 121(4):437-451. Doi: 10.1016/j.funbio.2016.07.006

O´Gara E., Hardy G.E.S. y Mc Comb J.A. (1996). *The ability of Phytophthora cinnamomi to infect trough wounded pe riderm tissue of Eucalyptus marginata.* Plant Pathology 45, 955-963. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1996.tb02906.x

Santillán-Mendoza R., Estrella-Maldonado H., Marín-Oluarte L, Matilde-Hernández C., Rodríguez-Alvarado G., Fernández-Pavía S.P. y Flores-de la Rosa F.R. (2024) *Phylogenetic and Pathogenic Evidence Reveals Novel Host-Pathogen Interactions between Species of Lasiodiplodia and Citrus latifolia Dieback Disease in Southern Mexico.* J Fungi (Basel). 14;10(7). https://doi.org/10.3390/jof10070484.

Slippers, B.; Crous, P. W.; Jami F.; Groenewald, J. Z. y Wingfield, M. J. (2017). *Diversity in the botryosphaeriales: looking back, looking forward.* Fungal Biol. 121(4), 307-321. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.02.002

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). P*roducción agrícola. Gobierno de México.* https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/produccion-agricola-404122.

Capítulo **48**

Diversidad y abundancia de la entomofauna y acarofauna del cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) en el norte de Sinaloa

Montiel Reyes Alejandro[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[107*]
Ayala Armenta Quintín Armando[107]
López Valenzuela Blanca Elvira[107]
Rábago Zavala Karen[107]
Valenzuela Cuadras Edgar[107]
Murillo Corrales Marcos Adrián[107]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Universidad Autónoma de Sinaloa, Calle 16 y avenida Japaraqui Juan José Ríos, Sinaloa C.P.811101. *fernando.vzla@favf.mx.

Resumen

El chile (*Capsicum annuum* L.) representa una especie de importancia económica. México se sitúa en la cuarta posición a nivel global, con una producción de 1 016 763 toneladas. El estado de Sinaloa ocupa el segundo lugar en cuanto a producción, generando 598 399 t, y en cuanto a municipios se refiere, Guasave está en la sexta posición a nivel estatal con 45 591 t. Este cultivo es susceptible a plagas de importancia económica. Razón por la cual se planteó como objetivo. Determinar la diversidad y abundancia de la entomofauna y acarofauna a nivel de orden presentes en el cultivo de chile en el norte de Sinaloa. Por medio de monitoreos que se llevaron a cabo en el municipio de Guasave en tres parcelas, cada una incluía 12 camas de 18 metros de longitud, donde se realizó el trasplante de chile jalapeño, serrano y anaheim. Los especímenes colectados fueron trasladados al laboratorio de entomología de la facultad para su identificación morfológica. Para su análisis se utilizaron los estadísticos de abundancia del índice de dominancia Simpson (1949) y para la diversidad se usó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (1948). Se encontraron 10 órdenes asociadas al cultivo de chile en el municipio de Guasave, Sinaloa, las cuales fueron: coleóptera, díptera, lepidóptera, hemíptera, trombidiformes, himenóptera, neuróptera, prostigmata, mantodea y tisanoptera.

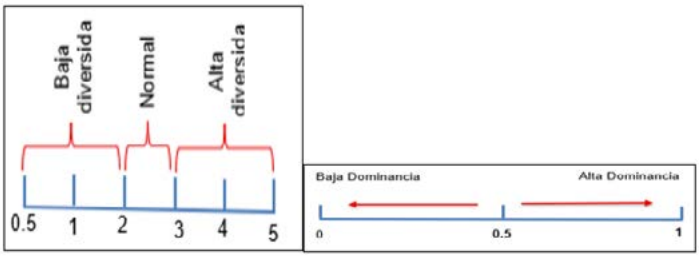
Introducción

Capsicum es un género que tiene relevancia económica, pertenece a la familia Solanaceae y alberga al menos 32 especies originarias de América tropical. Cinco de estas especies son cultivadas de manera significativa (*C. annuum* L., *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*) (Basu y De, 2003). La tasa media anual de crecimiento de la producción de chile en México en los últimos 10 años es 3,4 %. En 2022, nuestro país produce 3 112 481 t, que representa el 0,8 % más que el 2021 (SIAP, 2023). El chile es uno de los cultivos agrícolas más importantes en México y el mundo, y su

fruto se consume tanto fresco como seco, aportando color, sabor y aroma a innumerables platos, y es una de las principales especias (Aguilar, et al., 2012). Este cultivo enfrenta una variedad de obstáculos, principalmente plagas que varían según la región donde se establezca el cultivo (Mena, 2006). Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue identificar la diversidad y abundancia de la entomofauna y acarofauna del cultivo de chile en el norte de Sinaloa.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la zona norte del estado de Sinaloa, en el municipio de Guasave, en la localidad de Bachoco, a 25° 42' 15" N y 108° 50' 12" O. Las colectas se realizaron en campo durante el periodo comprendido del 16 de octubre de 2021 al 30 de abril de 2022; en total se realizaron 24 muestreos. Se utilizó el método de muestreo cinco de oros con el propósito de cubrir la totalidad del lote y que todas las unidades tuvieran la misma probabilidad de ser incluidas. Se utilizó el método de muestreo visual directo para la colecta de especímenes (Laborde, 1984). En cada punto de muestreo se tomaron 10 plantas, dando un total de 50 plantas muestreadas por cada fecha de muestreo, y se realizaron 24 muestreos, lo que dio un total de 1200 plantas. Se realizaba colecta directa desde la parte basal hasta la apical, y para ácaros se recolectaban foliolos con daño y presencia. Para el análisis de los datos se utilizaron los estadísticos del índice de dominancia o riqueza de Simpson:



Adaptado Índice de Shannon-Weiner

$$I.D.S. = 1 - \Sigma\left(\frac{n}{N}\right)^2$$

Para el índice de diversidad se empleó la fórmula de Shannon-Wiener:

$$H = -\sum \text{pi} * \ln(\text{pi})$$

Donde: H = Diversidad de especies, Pi = es la proporción del número de individuos de la especie (i) con respecto (N)

La identificación se realizó utilizando las claves y características morfológicas publicadas por McAlpine (1981) para dípteros. Los himenópteros se identificaron de acuerdo con la descripción de Mason (1993) y Nieves (2006). Mientras que para determinar el orden Coleoptera se utilizaron las claves y descripción morfológica de Gordon (1985). Para el caso de lepidópteros, se apoyó en la descripción propuesta por García (2015). Para el caso de ácaros, se utilizaron las claves y descripción propuesta por Doreste (1984) y Pérez (2015). Así, en cada grupo de insectos, se trabajó con la literatura publicada para determinar los órdenes de ácaros presentes en el cultivo de chiles jalapeño en el norte de Sinaloa.

Resultados y discusión

Se obtuvieron los siguientes órdenes de insectos y ácaros: coleóptera, lepidóptera, hemiptera, himenóptera, díptera, mantodea, neuroptera, tisanoptera, trombidiformes y prostigmata. Los resultados indican que el orden que presentó mayor porcentaje de diversidad para el área total de la colecta fue Coleóptera con (52 %) para chile serrano, seguido del orden Hemíptera con (19 %) para chile jalapeño (Figura 1). El orden que presentó mayor porcentaje fue Coleóptera con un valor de 42,5 % para chile serrano, seguido del orden Díptera, que presentó el 18.1 % para el cultivo de jalapeño (Figura 2). Para el análisis de dominancia de Simpson, se utilizaron los resultados de la colecta de los 8 órdenes de insectos y 2 órdenes de ácaros. Se puede observar que existe una alta dominancia en el cultivo de chile serrano, fundamentalmente para el orden Coleoptera, seguido del orden Diptera para jalapeño (Figura 3). Se obtuvo como resultado que el cultivo de chile serrano tiene una mayor diversidad, cuyo valor es (1.7187), seguido de una menor diversidad en el cultivo de chile jalapeño con un valor de (1.7099) y, por último, el chile Anaheim presenta una menor diversidad.

Sin embargo, de acuerdo con el valor del índice de Shannon-Wiener, los valores obtenidos en los tres cultivos fluctúan de 1.6960 a 1.7187, lo cual nos indica que los tres bloques presentan una baja diversidad (Figura 4). Los órdenes de insectos con más especímenes colectados fueron: Coleóptera, Hemíptera y Díptera. Garza (2002) señala que las plagas principales del cultivo de chile pertenecen al orden Coleóptera, Hemíptera, Díptera y Lepidóptera, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Urbaneja et al. (2005) argumentan que los depredadores son un grupo de enemigos naturales importantes para las plagas del cultivo. Estas órdenes identificadas coinciden con las encontradas por Lozano (2018). Medina (2020) refiere haber obtenido 4771 individuos pertenecientes a 16 órdenes (*Acari, Araneae, Blattodea, Collembola, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Embioptera, Ephemeroptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Neuroptera, Odonata, Orthoptera, Psocoptera*), el cual coincide con nuestro trabajo en siete órdenes encontrados.

Figura 1. *Diversidad relativa*

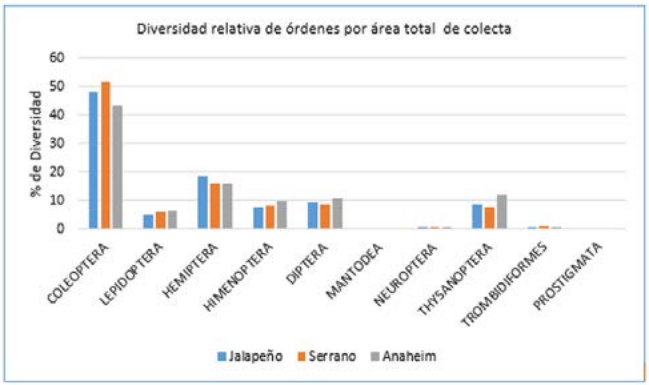


Figura 2. *Diversidad relativa*

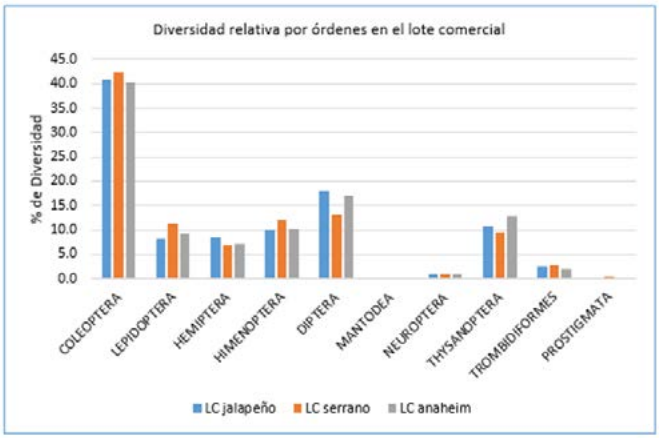


Figura 3. *Dominancia Simpson*

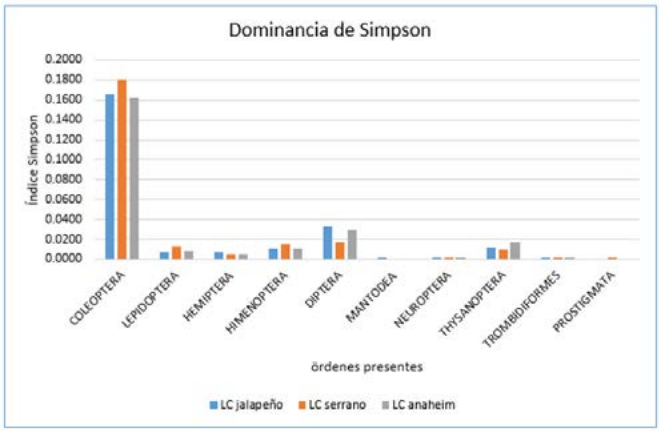
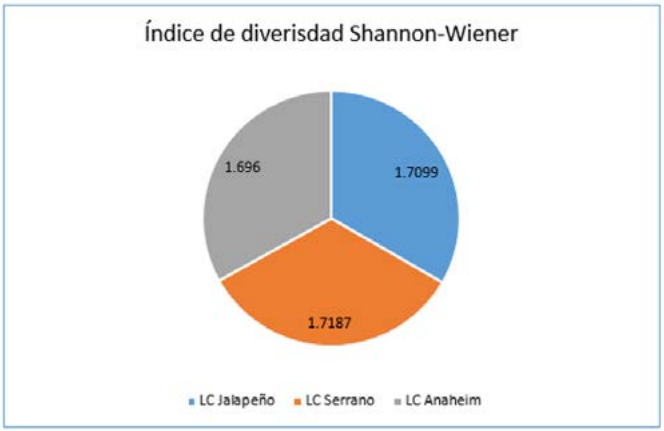


Figura 4. *Diversidad Shannon-Wiener*



Conclusiones

Se encontraron 8 órdenes de insectos y 2 órdenes de ácaros asociados al cultivo de chile en el municipio de Guasave, Sinaloa, los cuales fueron: Coleóptera, Díptera, Lepidóptera, Hemíptera, Trombidiformes, Hymenóptera, Neuróptera, Prostigmata, Mantodea y Tisanóptera, los cuales corresponden para el lote comercial: el 48,83 % son fitófagos, depredadores 27,90 %, parasitoides 20,93 % y polinizadores 2,32 %. Para el lote experimental se obtuvo el 46,34 % de fitófagos, depredadores 34,14 %, parasitoides 17,07 % y polinizadores 2,43 %. Es importante seguir realizando estudios de dominancia, diversidad y evaluación de los daños que estos fitófagos ocasionan al cultivo de chile en la región, además de su relación con otros cultivos. Estudiar la relación de la entomofauna y acarofauna con los factores bióticos y abióticos del medio donde se desarrolla el cultivo de chile podría proporcionarnos información para un manejo agroecológico dentro de un programa de una agricultura sustentable.

Referencias

Aguilar Rincón y Víctor H. (2012). *Cultivo de chile en México.* Revista fitotecnia mexicana 35(4). 264. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0187-73802012000400001ylng=esytlng=es

Basu, S. K., y De, A. K. (2003). *Capsicum: historical and botanical perspectives*. In Capsicum. 21-35. CRC Press.

Doreste, E. (1984). *Acarología* (No. 11). Bib. Orton IICA/CATIE.

García-Barros, E., Romo, H., i Monteys, V. S., Munguira, M. L., Baixeras, J., Moreno, A. V., y García, J. L. Y. (2015). *Orden lepidoptera*. Revista IDE@-SEA, 65, 1-21.

Garza, U. E. (2002). *Manejo Integrado de las plagas del chile en la Planicie Huasteca.* INIFAPCIRNE. Campo Experimental Ébano. Folleto Técnico Núm. 10. San Luis Potosí, México. 47.

Gordon, R. D. (1985). *The Coccinellidae (Coleoptera) of America north of Mexico*. Journal of the New York Entomological Society, 93(1).

Laborde, C. J. A., y C. O. Pozo. (1984). *Presente y Pasado del Chile en México.* Publicación especial No. 85. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México. 80 p.

Lozano Gutiérrez, J., Salas Montes, J. M., España Luna, M. P., Lara Herrera, A., Balleza Cadengo, J., y Martínez Contreras, C. A. (2018). *Entomofauna asociada a seis tipos de chile (Capsicum annum L) en Morelos, Zacatecas, México.*

Mason, W. R. (1993). *Key to superfamilies of Hymenoptera. Hymenoptera of the World: an identification guide to families*. Ottawa, Centre for Land and Biological Resources Research, 65-100.

McAlpine, J. F., Peterson, B. V., Shewell, G. E., Teskey, H. J., Vockeroth, J. R., y Wood, D. M. (1981). *Manual of Nearctic Diptera*. 1 (27) vi+-674.

Medina Ruíz, M. (2020). *Entomofauna asociada al ají tabasco (Capsicum frutescens L.) en épocas húmeda y seca*

Mena, C. J. (2006). *Estrategia de manejo integrado contra los insectos plaga del chile.* 97-119. Tecnología de producción de chile seco. Libro Técnico No. 5. Campo Experimental Zacatecas –INIFAP.

Nieves-Aldrey, J. L., Fontal-Cazalla, F., y Fernández, F. (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical.* Universidad Nacional de Colombia.

Pérez, F. F. (2015). *Orden Prostigmata*. Revista IDE@-SEA, 14, 1-8.

Ruiz, A. F., Prado, K. V., Bowen, L. S., y Soto, A. C. (2021). *Identificación de la entomofauna presente en el cultivo de pimiento (Capsicum annuun L.) en el sector Lodana del cantón Santa Ana, Ecuador*. Manglar, 18(4), 397-402.

Shannon, C. E. (1948). *A mathematical theory of communication*. The Bell system technical journal, 27(3), 379-423.

SIAP (2023). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Panorama Agroalimentario 2023 Edición. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035

Simpson, E. H. (1949). *Measurement of diversity. nature*, 163(4148), 688-688.

Urbaneja, A., J. L. Ripollés, R. Abad, J. Calvo, P. Vanaclocha, D. Tortosa, J. A. Jacas, y P. Castañeda. (2005). *Importancia de los artrópodos depredadores de insectos y ácaros en España*. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 31: 209-223.

Capítulo **49**

Patogenicidad cruzada de especies de *Rhizoctonia* asociadas a papa, frijol y maíz en Sinaloa, México

Rabago Zavala Karen[1]
Valenzuela Escoboza Fernando Alberto[1*]
Ayala Armenta Quintín Armando[1]
Pérez Mora Juan Luis[1]
Ceballos Chávez Ángel Rosario[2]
González Molotla Iris Alejandrina[1]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Avenida Japaraquí s/n y Calle 16, Juan José Ríos, 81110, Sinaloa, México. *fernando.vzla@favf.mx.
[2] Universidad Tecnológica de la Tarahumara, carretera Guachochi-Yoquivo km 1.5, colonia Turuseachi, C.P 33180. Dpto. de Ciencias Ambientales y Agropecuarias.

Resumen

La rhizoctoniasis representa una enfermedad de importancia económica en cultivos de papa, frijol y, más recientemente, en maíz, afectando la vaina de la hoja basal. Con el objetivo de evaluar la patogenicidad de especies de *Rhizoctonia* asociadas a estos cultivos, tanto en hospedantes originales como cruzados, se recolectaron aislados durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2021–2022 en el norte de Sinaloa. Se obtuvieron muestras de papa, frijol y maíz, previamente sometidas a análisis morfológicos, moleculares y pruebas de patogenicidad. Los aislados fueron identificados como *Rhizoctonia solani* en los tres cultivos, ubicados en el grupo de anastomosis AG-4, subgrupos HGI y HGIII; *Rhizoctonia* binucleada se aisló exclusivamente de frijol, mientras que *Rhizoctonia zeae* se asoció únicamente a maíz. Todas las especies resultaron patogénicas en sus hospedantes originales, con distintos niveles de severidad, y las inoculaciones cruzadas demostraron que los aislados son capaces de infectar de manera aún más agresiva los tres cultivos, independientemente de su origen, resultando los aislados de *Rhizoctonia solani* AG-4 HGI más infecciosos en ambos cultivos, afectando la germinación en frijol, pudriendo tallos y ocasionando costra negra en tubérculos de papa y mancha bandeada en maíz, presentando diferencias significativas ($p > 0.05$). con los testigos. Este hallazgo indica que la rotación entre papa, frijol y maíz no constituye una estrategia viable para el manejo de la enfermedad en campo.

Introducción

El estado de Sinaloa, México, se ha consolidado como una de las principales regiones productoras de hortalizas y granos en el país, destacado por la producción anual de papa (474 637 ton), frijol (172 238 ton) y maíz (3 368 657 ton) (SIAP, 2024). Estos cultivos constituyen una base económica y alimentaria estratégica tanto para el consumo interno como para la exportación. Sin embargo, la productividad se ve seriamente limitada

por la incidencia de diversas enfermedades de origen fúngico y bacteriano que afectan la calidad y el rendimiento de los cultivos (Index Mundi, 2023). En años recientes, productores y asesores técnicos han reportado un incremento en la incidencia y severidad de enfermedades asociadas a *Rhizoctonia* spp. en estos tres cultivos. En la papa, se observa con mayor frecuencia el cancro del tallo y la presencia de costra negra; en frijol, lesiones secas y hundidas en tallos y raíces; y en maíz, tizones foliares y cancros nodales. La problemática se acentúa en sistemas de rotación agrícola que incluyen estos cultivos, lo que sugiere la persistencia y adaptación del patógeno en el agroecosistema. Estudios preliminares han confirmado la asociación de Rhizoctonia con plantas sintomáticas, coincidiendo con lo reportado en la literatura internacional (Yang et al., 2014).

Considerando lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la patogenicidad de especies de *Rhizoctonia* en los hospedantes originales y determinar el potencial de infección cruzada entre los tres cultivos. El conocimiento generado permitirá establecer bases científicas para el diseño de estrategias de manejo integrado y la planificación de rotaciones de cultivo más sostenibles, contribuyendo a reducir el impacto económico y productivo de este patógeno en la región.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ciclo otoño–invierno 2021–2022 en 14 campos comerciales de papa, frijol común y maíz en Ahome y Guasave, Sinaloa. Cada lote fue muestreado utilizando la técnica de "cinco de oro", tomando 2 muestras por sitio de muestreo, lo que resultó en 10 muestras de tejido infectado por cada lote. Estas muestras fueron colocadas en bolsas de plástico etiquetadas con la ubicación y la fecha, variedad y síntomas, y luego almacenadas en un refrigerador a aproximadamente 8-10 °C, para su transporte al laboratorio y procesamiento (Agrios, 2005). A partir de las cepas puras obtenidas de *Rhizoctonia* spp., se realizó la caracterización morfológica tomando variables macro y microscópicas como el color de la colonia, la formación de esclerocios, el diámetro de las hifas y el número de núcleos por hifa. Los aislados se cultivaron en PDA e incubaron a 25 °C durante 30 días, con inspecciones diarias para medir el tiempo de formación de esclerocios

y el color de la colonia. Para medir el diámetro de las hifas y los núcleos por célula hifal, se utilizaron colonias de 7 días de edad. Para la identificación molecular, se extrajo ADN genómico de cada uno de los aislados puros y se amplificaron y secuenciaron la región del espaciador transcrito interno con los pares de iniciadores ITS5/ITS4 (White et al., 1990).

Las pruebas de patogenicidad se realizaron en invernadero con tubérculos de papa Fianna, semillas de frijol Azufrado Higuera y el híbrido de maíz DK-2037. Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron los diferentes aislados de Rhizoctonia (ocho por cultivo), 24 en total más el testigo. Las unidades experimentales fueron macetas de 25 × 25 cm con suelo estéril (mezcla 3:1 suelo agrícola + arena, pH 7.0). Se sembró un tubérculo en papa, cuatro semillas en frijol y una semilla en maíz.

El *inóculo* de *R. solani* para papa y frijol se preparó en granos de sorgo colonizados, incorporados al suelo previo a la siembra. En frijol, la patogenicidad se evaluó a los 10 y 30 días; en papa, a los 90 días. En maíz se aplicó inoculación foliar en la vaina basal a los 30 días y se evaluó a los 14 días posteriores (Perdomo et al., 2007). Los controles consistieron en plantas no inoculadas.

Las plantas se mantuvieron en invernadero a 20–35°C, con fertilización semanal (Miracle-Gro) y riegos según necesidad. Las variables registradas fueron: en papa, porcentaje de tallo con cancro y superficie tuberosa con costra (cm^2); en frijol, porcentaje de germinación y severidad en raíces e hipocótilo (escala de Muyolo et al., 1993); y en maíz, superficie afectada en la vaina foliar (cm^2) (Zadoks and Schein, 1979). Al finalizar, se aislaron los patógenos para confirmar su identidad.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando InfoStat. Los datos se analizaron mediante ANOVA y la separación de medias siguiendo la prueba de Kruskal-Wallis, para identificar diferencias significativas con pruebas de comparación de medias para identificar los aislados más agresivos.

Resultados y discusión

En el presente estudio se identificaron tres especies distintas del género *Rhizoctonia*. La primera, *R. solani*, fue descrita en ambos cultivos y correspondió al grupo de anastomosis AG-4, subgrupos HGI y HGIII. Esta especie presentó hifas multinucleadas con un diámetro superior a 5 μm

y esclerocios amorfos de color oscuro, con tamaños entre 3 y 5 mm. La segunda especie, *R. binucleada*, se detectó únicamente en frijol; sus hifas fueron binucleadas con diámetros mayores a 5 μm y esclerocios pequeños, circulares y de color café claro (≈2 mm). Finalmente, *R. zeae* se observó en maíz, caracterizada por hifas multinucleadas con diámetros menores a 5 μm y esclerocios rojos, circulares y de tamaño inferior a 1 mm. Las pruebas de patogenicidad demostraron que los aislados, independientemente del hospedante original, resultaron patogénicos en su cultivo de origen, con distintos grados de virulencia. De manera similar, las inoculaciones cruzadas evidenciaron que los aislados infectaron papa, frijol y maíz con diferente grado de agresividad en papa, frijol y maíz, mostrando diferencias significativas en cuanto al control (Cuadro 1). Sin embargo, *Rhizoctonia solani* AG-4 HGI mostró ser más infeccioso en ambos cultivos, afectando la germinación en frijol, pudriendo tallos y ocasionando costra negra en tubérculos de papa y mancha bandeada en maíz, presentando diferencias significativas ($p > 0.05$); esto implica que las especies de *Rhizoctonia* descritas en el presente estudio limitan la inclusión de papa, frijol y maíz en un sistema de rotación de cultivos para el manejo de la enfermedad en el norte de Sinaloa. Con respecto a la patogenicidad de las especies de *Rhizoctonia*, Sneh et al. (1991) describen que los grupos y subgrupos de anastomosis son específicos para cada hospedante; sin embargo, en el norte de Sinaloa, el comportamiento de los aislados es muy variable en cuanto al rango de hospedante y virulencia, debido a la variabilidad genética del género, tal como lo describe González et al. (2006).

Cuadro 1. *Patogenicidad de aislados de Rhizoctonia de papa en papa, frijol y maíz dulce*

	Papa*		**Frijol***		**Maíz***
Especies aisladas papa, frijol y maíz	**Tubérculo[V]**	**Planta[W]**	**Germinación[X] (%)**	**Planta[Y]**	**Vaina de la hoja [Z]**
P1. R. solani AG-4HGI	24.6 I	07.5 FG	00.0 A	05.5 D	13.5 GH
P2. R. solani AG-4HGI	16.4 GI	03.1 AE	10.0 AD	04.0 AC	06.8 BH
P3. R. solani AG-4HGI	12.6 GI	01.0 AB	07.5 AC	04.6 AD	06.7 AG
P4. R. solani AG-4HGI	09.6 EI	01.1 AC	62.5 E	03.6 AB	01.4 A
P5. R. solani AG-4HGI	09.2 DI	0 6 . 4 DG	15.0 AE	04.0 AC	07.6 DH
P6. R. solani AG-4HGI-II	06.8 AH	01.0 AB	40.0 CE	05.0 D	11.7 GH
P7. R. solani AG-4HGI-II	05.4 AF	04.7 BG	45.0 DE	03.8 AC	04.2 AB
P8. R. solani AG-4HGI-II	03.7 AD	07.1 FG	20.0 BE	03.7 AB	06.0 AF
F1. R. solani AG-4HGI	17.5 HI	06.9 FG	07.5 AC	04.8 CD	04.5 AC
F2. R. solani AG-4HGI-II	11.5 FI	06.5 EG	32.0 CE	04.5 AD	05.1 AE
F3. R. binucleada	07.7 CI	03.3 AE	05.0 AB	05.0 D	06.7 AG
F4. R. solani AG-4HGI	07.2 BI	01.8 AD	10.0 AD	05.0 D	15.1 H
F5. R. solani AG-4HGI	06.2 AG	05.1 CG	00.0 A	05.0 D	10.9 FH
F6. R. solani AG-4HGI	04.7 AE	07.6 G	40.0 CE	04.7 BD	07.4 CH
F7. R. solani AG-4HGI-II	03.6 AC	04.0 AF	30.0 BE	05.0 D	04.6 AD
F8. R. solani AG-4HGI	02.1 AB	04.0 AF	50.0 DE	04.1 AC	08.2 EH
M1. R. zeae	17.5 HI	06.9 FG	07.5 AC	04.8 CD	04.5 AC
M2. R. solani AG-4HGI-II	11.5 FI	06.5 EG	32.0 CE	04.5 AD	05.1 AE
M3. R. zeae	07.7 CI	03.3 AE	05.0 AB	05.0 D	06.7 AG
M4. R. solani AG-4HGI	07.2 BI	01.8AD	10.0 AD	05.0 D	15.1 H
M5. R. solani AG-4HGI	06.2 AG	05.1 CG	00.0 A	05.0 D	10.9 FH
M6. R. solani AG-4HGI	04.7 AE	07.6 G	40.0 CE	04.7 BD	07.4 CH

	Papa*		**Frijol***		**Maíz***
Especies aisladas papa, frijol y maíz	**Tubérculo[V]**	**Planta[W]**	**Germinación[X] (%)**	**Planta[Y]**	**Vaina de la hoja[Z]**
M7. R. solani AG-4HGI-II	03.6 ABC	04.0 AF	30.0 BE	05.0 D	04.6 AD
M8. R. zeae	02.1 AB	04.0 AF	50.0 DE	04.1 AC	08.2 EH
Testigo	00.0 A	00.0 A	100.0 E	00.0 A	00.0 A

P= aislado de papa. F= aislado de frijol. M= aislados de maíz. V= Dimensión de la superficie (cm^2) del tubérculo cubierto por de la costra negra. W= Dimensión en cm2 del cancro que se formó en la base del tallo. X= Porcentaje de germinación de la semilla de frijol. Y= La severidad de los aislados plantas de frijol. Z= Área de la vaina de la hoja afectada (AVHA) en cm2. *Comparación de medias por la prueba de Kruskal –Wallis. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Conclusiones

Las especies de *Rhizoctonia* evaluadas fueron patogénicas tanto en sus hospedantes originales como en hospedantes cruzados, lo que limita la rotación de papa, frijol y maíz como estrategia de manejo. Se requieren estudios adicionales para identificar cultivos alternativos que puedan incorporarse en rotaciones sostenibles y generar estrategias de control eficientes para la enfermedad.

Referencias

Agrios, G.N. (2005) *Fitopatología*. Segunda edición. Editorial LIMUSA. Eds. Grupo noriega. México. D. F. México. 838.

González, V., Portal-Onco, M. A. y Rubio-Susan, V. (2006). *Biology and systematics of the form Genus Rhizoctonia*. Spanish Journal of Agricultural Research 4 (1):55-79. Rhizoctonia.pdf

Index Mundi. (2023). *Global corn production statistics*. https://www.index-mundi.com

Muyolo, N.G. (1993). *Reacciones de cultivares de frijol seco, frijol Lima y soja a la pudrición de la raíz y el hipocótilo por Rhizoctonia y al tizón de la red*. Planta Dis. 77: 234-238. DOI: 10.1094/PD-77-0234.

Perdomo, R., Hernández, A., González, A., Pineda, J. y Alezones, J. (2007). *Caracterización y evaluación de virulencia en aislamientos de Rhizoctonia solani Kuhn, causante de la mancha bandeada en maíz*. Interciencia 32:48-55. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932108

Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2024). *Producción agrícola anual*. http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/.

White, T. J., T. D. Bruns, S. B. Lee, y J. W. Taylor. (1990). *Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA Genes for phylogenetics*. https://www.researchgate.net/publication/223397588_

Yang, Y. G., Zhao, C., Guo, Z. J., y Wu, X. H. (2014). *Anastomosis groups and pathogenicity of binucleate Rhizoctonia isolates associated with stem canker of patato in China*. Journal of Plant Pathology 139:535-544.

Zadoks, J. C. y Schein, R. D. (1979). *Epidemiology and plant disease management*. Oxford University Press. 427 p.

Capítulo **50**

Mortalidad de adultos de *Anthonomus eugenii* (Cano, 1894) (*Coleoptera: curculionidae*) por *Metarhizium* sp en condiciones de laboratorio

Ordaz Silva Salvador[1]*
Pedro Méndez José Guadalupe[2]
Ríos Velasco Claudio[3]
Soto Ortiz Roberto[4]
Delgadillo Ángeles Jorge Luis[1]
Carrazco Peña Laura Dennisse[1]

[1] Facultad de Ingeniería y Negocios, Universidad Autónoma de Baja California. Km 180.2. Carretera Ensenada-San Quintín. CP 22930. Ejido Padre Kino, San Quintín, Baja California, México. salvador.ordaz.silva@uabc.edu.mx.
[2] Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. pedro.jose@uabc.edu.mx.
[3] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.
[4] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar la mortalidad de Anthonomus eugenii con el uso de una cepa de Metarhizium sp. in vitro, aislada de las colectas realizadas en el Valle de San Quintín. La colecta de los adultos de A. eugenii fue en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) del Valle de la Trinidad. Posteriormente, bajo condiciones de laboratorio por inmersión, se separaron en grupos de 10 individuos para ser inoculados con la cepa a diferentes concentraciones, 1 x 107, 1 x 108 y 1 x 109 UFC, bajo condiciones controladas de temperatura (25 ± 2 °C) y humedad relativa (70 ± 5 %); los conteos de adultos infestados fueron a las 48, 72, 96 y 120 h. El conteo a 48 h en la concentración 1 x 108 UFC fue de 43,3 % de individuos muertos. A las 120 h se mantuvo este tratamiento como el de mayor índice, siendo de 96,7 %, mientras que a la concentración 1 x 109 UFC alcanzó el 83,3 % de individuos muertos, en contraste con aquellos que fueron sumergidos en agua destilada, que tuvieron 0 y 6,7 % de muertes a las 48 y 120 h, respectivamente. El desarrollo de alternativas biológicas para el control de plagas es fundamental, ya que permite reducir el uso de agroquímicos, favorecer la sostenibilidad agrícola y aprovechar cepas nativas con potencial entomopatógeno para una producción más segura y ambientalmente responsable.

Introducción

El cultivo de chile es uno de los más importantes en México, de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Rural (SADER), a través de su Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Para el 2024, la producción ascendía a 3 220 428.46 t, siendo los principales productores Sinaloa, Chihuahua y Zacatecas. Mientras que en Baja California para el mismo año se reportaron 358.5 ha con una producción de 11 910.98 t y un valor de la producción de 135 779.97 miles de pesos (SADER, 2025). Una de las

plagas más importantes que afecta a botones florales, flores y frutos es el picudo del chile (*Anthonomus eugenii Cano*) y se estima que se pierden de 70 a 80 millones de dólares anualmente (Sanidad Vegetal, 2025). El uso de hongos entomopatógenos para el control biológico, específicamente de *Metarhizium* sp., ha ido en incremento, por lo que se trata de encontrar cepas endémicas y evaluar su efecto con insectos plaga. Es por lo que, en la búsqueda de este objetivo y el poder generar una estrategia de manejo a los productores que permita la disminución progresiva del uso de agroquímicos, se realizó la prueba *in vitro* para la selección de la concentración que dé mayor eficiencia en la mortalidad de los adultos del picudo.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín de la Universidad Autónoma de Baja California, específicamente en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Biológicas. En este espacio, se aplicó una cepa de *Metarhizium* sp., aislada previamente de muestras de suelo del Valle de San Quintín, a adultos de picudo recolectados del cultivo de chile jalapeño en el Valle de La Trinidad.

Bioensayo

La cepa de *Metarhizium* sp. se aplicó a tres concentraciones, 1 x 107, 1 x 108 y 1 x 109 UFC, más un testigo (agua destilada) con tres repeticiones cada uno. Se tomaron 10 adultos de picudos de chile por repetición y por inmersión se les agregaron los tratamientos en cajas de Petri bajo condiciones de temperatura a 25 ± 2°C con una humedad relativa del 70 ± 5 %. Posteriormente, se hicieron los conteos, considerando a los adultos inmóviles como aquellos que ya habían sido infectados, a las 48, 72, 96, 120 y 144 h.

Análisis estadístico

Para poder realizar el análisis estadístico, se convirtieron las dosis a base log10 y los individuos muertos a proporciones (p). Las proporciones (p) son corregidas si en el testigo hay más de 10 % de mortalidad, utilizando la fórmula de Schneider-Orelli (1947).

$$\text{Mortalidad (p) corregida} = \frac{\%\ \text{Respuesta} - \%\ \text{Respuestas en el testigo}}{100 - \%\ \text{Respuestas en el testigo}}$$

Se convirtieron las proporciones (p) a probits (y) utilizando una calculadora de análisis probit (Mekapogu, 2021). Se construyó una curva de respuesta usando las dosis log10 (x) y los probits (x) y se obtuvo la regresión. Probits menores a 1 o mayores a 7 son ignorados debido a su poca significancia en la estimación de la CL (Hayes, 2014). La mortalidad original (observada) y la estimada (calculada) se utilizan para calcular el estadístico chi-cuadrado (con dosis log10 – 2 como grados de libertad). Si la chi-cuadrada es no significativa, eso indica un buen ajuste de la curva de respuesta. Por último, se construyeron límites de confianza al 95 % mediante la fórmula:

$$\text{Límites de confianza (95\%)} = \text{antilog (dosis log10} \pm 1.96\ \text{Error estándar).}$$

Resultados y discusión

A las 120 h se encontró la mayor tasa de mortandad 1 x 108 UFC (Figura 1), siendo este con un promedio de 9.67 individuos muertos. Este tratamiento arrojó el mayor valor en la prueba de chi cuadrada (Cuadro 1), lo que demuestra la factibilidad de obtener resultados significativos en menos de una semana; un hallazgo crucial considerando que las poblaciones de adultos en el campo pueden encontrarse en fase de incremento. Estos resultados coinciden con los de Lule (2024), quien evaluó *Metarhizium* sp. junto con otros hongos entomopatógenos y reportó que esta cepa fue la más agresiva contra el picudo del chile.

Figura 1. *Mortalidad de picudos de chile con el uso de Metarhizium sp a 48, 72, 96 y 120 h.*

Cuadro 1. *Análisis estadístico Chi-cuadrado de la mortalidad de picudos de chile con el uso de Metarhizium sp.*

CURVE_FITTING					
Slope	0.07764272				
Intercept (log10)	-0.08295828			**Intervalo de Confianza**	
SD (σ)	12.8795068	CL 50	5.04E-02	3.9888E-05	6.37E+01
SE	1.58250833	CL95	2.19937E+21	1.7401E+18	2.77981E+24
R^2	0.05831513				
Chi-test (χ2) Sig	0.52035915				
df	4				

Conclusiones

La concentración de la cepa de *Metarhizium* sp. de 1 x 108 UFC resulta más eficiente para asegurar la mortandad de los adultos de picudo del chile. Desde las primeras 48 h ya se puede ver el efecto de la infestación del hongo entomopatógeno con respecto al testigo. Esta información resulta de utilidad para la toma de decisiones en el tiempo del efecto con el uso de entomopatógenos para la disminución del control del picudo del chile con agroquímicos.

Referencias

Finney, D. J., Ed. (1952). *Probit Analysis. Cambridge, England*, Cambridge University Press.

Hayes, W. J. and C. L.Kruger(eds). (2014) *Handbook of Haye's principles and methods of toxicology*, 6th Edition, CRC Press, Boca Raton, NY.

Kapogu, A.R. (2021) F*inney´s probit analysis spreadsheet calculator* (version 2021).

Lule, L. Y. (2024). *Uso de hongos entomopatógenos en el control biológico del picudo del chile (Anthonomus eugenii Cano)*. Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra. Tecnológico Nacional de México.

SADER (2025). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* (DGSIAP). https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Sanidad Vegetal (2025). *Manual Técnico para el Manejo Integrado del Picudo del Chile (Anthonomus eugenii) Cano*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/998312/MANUAL_TECNICO_PICUDO_DEL_CHILE_compressed.pdf

Capítulo **51**

Infecciones mixtas de hongos fitopatógenos asociados a la muerte de césped (*Cynodon dactylon*) en campos de golf de Baja California Sur

Romero Bastidas Mirella[1*]
Tirado Jara Julio Martín[1]
Romero Bastidas Jesús Iván[1]
Márquez Calderón Mario Alberto[1]
Acevedo González Jorge Antonio[1]
Molina Martínez Victor[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Agronomía, Laboratorio de Fitopatología. *miromero@uabcs.mx.

Resumen

El césped de los campos de golf en Baja California Sur presenta muerte foliar generalmente asociada a deficiencia nutricional. Sin embargo, se ha observado la presencia de estructuras blancas de tipo algodonoso sobre el tejido, lo que conduce a que la posible causa sea de tipo fúngica. Actualmente, se desconoce la diversidad de hongos patógenos asociados al deterioro vegetal. El objetivo de este estudio fue evaluar las infecciones mixtas de hongos fitopatógenos asociados a la muerte de césped en campos de golf de Baja California Sur. Para cumplir este objetivo, 10 muestras al azar de césped sintomático fueron muestreadas en cuatro campos de golf, en La Paz y Los Cabos, BCS. El aislamiento y siembra fúngica en PDA se realizó de tejido foliar y radicular e incubados a 28°C por 10 días. El fenotipo colonial se identificó a través del diámetro, color y textura y se comparó con claves taxonómicas de Barnett y Hunter (1972). La patogenicidad de los aislados fue determinada con los postulados de Koch. Como resultados, se identificaron cinco aislados fúngicos: *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Curvularia* sp. (C1 y C2). Este estudio demuestra la diversidad fúngica que contribuye al deterioro de césped.

Introducción

En Baja California Sur, el turismo del golf es una de las actividades económicas de mayor importancia en la región (Ruiz-Hernández, 2021). Este deporte se considera una tendencia que sobrepasa el ámbito deportivo y mantiene alcances económicos, sociales y ambientales de gran envergadura (Flores-Regules et al., 2016). Actualmente, el golf genera una derrama económica anual estimada en aproximadamente $25 000 millones de pesos en el país (Expogolf, 2025). El césped (*Cynodon dactylon*) es la vegetación característica de los campos. La salud de esta herbácea está relacionada con su vigor y apariencia estética, ambos piezas clave en la atracción e in-

terés de los jugadores. El manejo común para la conservación óptima del césped está asociado al riego continuo y fertilizaciones nitrogenadas constantes (Carlson et al., 2022). Estas condiciones aptas para la planta también favorecen la aparición de microorganismos fitopatógenos que dañan significativamente la calidad, vigor y apariencia del césped (Stackhouse et al., 2020). En años recientes, se ha confirmado el daño provocado por algunos géneros de nematodos en el Estado (Sánchez-Arce et al., 2021), por lo que se ha generado un interés reciente para el control del deterioro del césped. Sin embargo, las interacciones asociadas a hongos todavía no han sido reportadas. Por todo lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar las infecciones mixtas de hongos fitopatógenos asociados a la muerte de césped en campos de golf de Baja California Sur.

Materiales y métodos

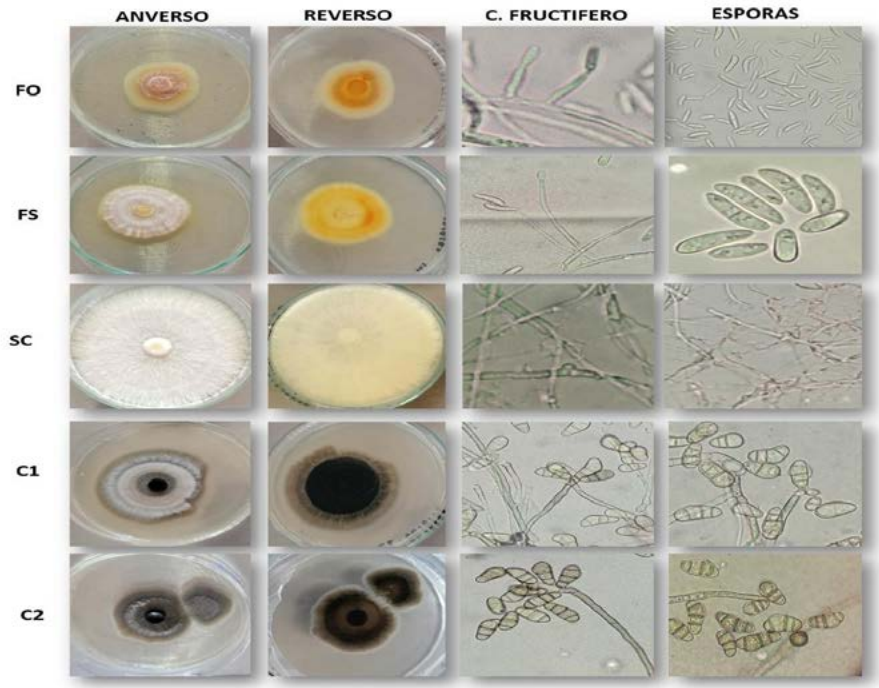
10 muestras de césped (follaje y raíz) con síntomas de amarillamiento, pudrición y/o muerte se colectaron al azar en cuatro campos de golf, en La Paz y Los Cabos, BCS, durante el ciclo 2024-2025 (Figura 1). El aislamiento y siembra se realizó, siguiendo la metodología de Pradeep et al. (2013), en donde se realizaron cinco cortes de tejido sintomático desinfectados previamente con hipoclorito de sodio al 10 %; estas muestras fueron colocadas en medio PDA e incubadas a 28 °C en oscuridad durante 10 días. Cuando los cultivos puros fueron obtenidos, se realizó la caracterización colonial y microscópica mediante forma y color de la colonia, así como forma de esporas, micelio y cuerpo fructífero. Los especímenes fueron comparados con claves taxonómicas propuestas por Barnet y Hunter (1972). La patogenicidad de los aislados se determinó mediante los postulados de Koch. La tasa de crecimiento fue evaluada por triplicado para los aislados obtenidos. El diseño experimental fue completamente al azar con 5 tratamientos. Las medias de los tratamientos se compararon utilizando la prueba de Tukey con una significancia al 0,05 %.

Figura 1. *A y B) Campo de golf con síntomas de daño. C) Muestras de césped con amarillamiento (1/1-1), pudrición (2/2-1) y Muerte (3/3-1).*

Resultados y discusión

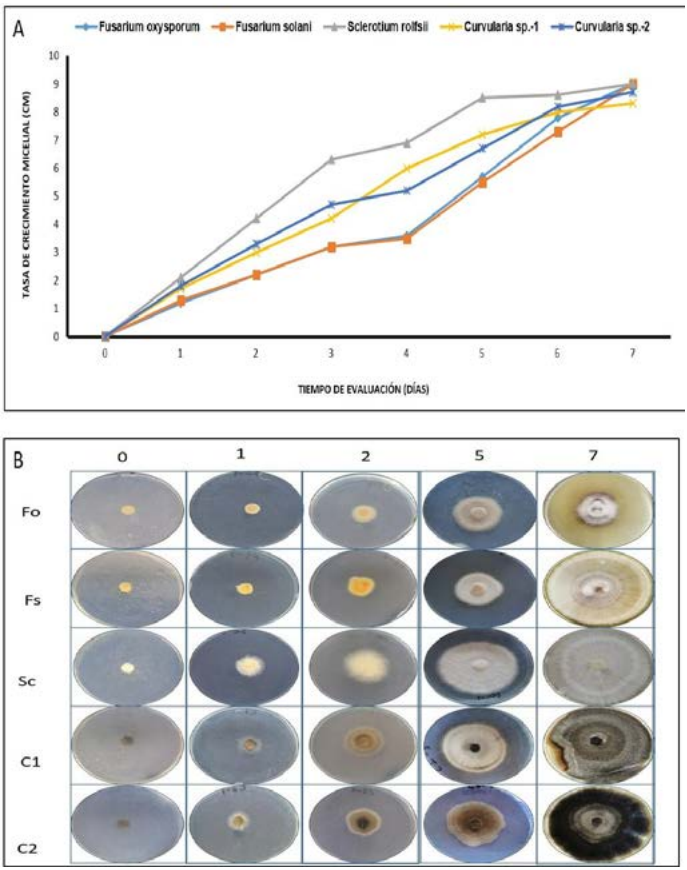
Identificación. Cinco aislados fueron obtenidos de césped. Tres aislados de raíz y dos aislados de follaje. Las especies identificadas en muestras de raíz fueron *Fusarium solani* y *F. oxysporum*, las cuales presentaron colonias color crema y rosadas, respectivamente, con macro y microconidios presentes. Así mismo, se identificó a *Sclerotium rolfsii*, la cual presentó colonias blancas y micelio con fíbulas presentes sin esclerocios. Mientras que en muestras de follaje se pudo identificar a *Curvularia* sp. (C1 y C2), la cual presentó colonias de tonalidades café grisáceo y marrón oscuro con esporas en forma curva debido a un septo central más ancho. Estas características se pudieron comparar con las reportadas por Barnett y Hunter (1972) debido a las similitudes entre los resultados obtenidos y lo reportado por los autores mencionados anteriormente.

Figura 2. *Aislados fúngicos identificados en césped*



Tasa de crecimiento. La tasa de crecimiento inicial al día 1 estuvo relacionada entre géneros. *Sclerotium rolfsii* tuvo la tasa más alta (2.1 cm); para el día cinco, la caja Petri se llenó en su totalidad (9 cm). *Curvularia* (C1 y C2) siguió en orden de importancia con una tasa alta (1.7 y 1.8 cm respectivamente). Mientras que *F. oxysporum* y *F. solani* presentaron las menores tasas de crecimiento (1.2 y 1.3 cm), culminando hasta el día siete (Figura 3A). Todos los aislamientos presentaron un crecimiento radial, y con variantes hifales formando círculos concéntricos (Figura 3B). Estos resultados indican la importancia de conocer la velocidad de crecimiento de estos fitopatógenos para optimizar las medidas específicas de control, lo que coincide con lo señalado por Peng et al. (2021), quienes señalan que comprender la biología y el crecimiento de los hongos fitopatógenos es clave en el conocimiento de los mecanismos patogénicos, ciclos de infección y el control de los mismos..

Figura 3. *Tasa de crecimiento, A) Crecimiento micelial y B) morfología de hongos a través del tiempo*



Respecto a la patogenicidad de los aislados, se observó que todos presentaron síntomas de daño tanto en el tejido foliar como radicular. En el caso de *S. rolfsii*, al cabo de dos días después de la inoculación en el tejido del césped, se observó la presencia del micelio blanquecino extendido sobre la parte superior de las plantas. Mientras que en el caso de los aislados de *Curvularia* sp. la sintomatología se registró hasta el día cinco, al mostrar pequeñas manchas necróticas sobre las hojas que provocaron amarillamiento del follaje. En el caso de los aislados de *Fusarium*, la respuesta de daño fue lenta, donde se presentó un amarillamiento previo del follaje al cabo de seis días y posteriormente se observaron las raíces necrosadas.

Conclusiones

Los géneros *Sclerotium rolfsii* y *Curvularia* sp. presentaron mayor prevalencia en los campos de golf. Los cinco aislados fúngicos obtenidos participaron en infecciones mixtas. El 100 % de hongos identificados resultaron ser patógenos en césped. Esto indica que existe una diversidad fúngica que contribuye al deterioro del césped en los campos de golf y proporciona información importante y precisa para optimizar las estrategias de control.

Referencias

Barnett L. H. y Hunter B. B., (1972). *Illustrated Genera of imperfect fungi*. Editorial, Burgess Publishing Company, United States of America. 241.

Carlson M. G., Gaussoin R. E. y Puntel L. A. (2022). *A review of precision management for golf course turfgrass*. Crop Forage y Turfgrass Mgmt. 8:e20183. 1-11. DOI: 10.1002/cft2.20183.

Expogolf (2025). *El golf en México: Motor de crecimiento económico y oportunidades de negocios en Latinoamerica*. https://expogolfmexico.com.mx/el-golf-en-mexico-motor-de-crecimiento.

Flores-Regules A., Vargas-Martínez E. E. y López-Moredasmo L. J. (2016). *Turismo de golf en México: consideraciones ambientales para su desarrollo*. Revista Internacional de Economía y Gestión de las Organizaciones, ISSN 2254-1608. Volumen 2(1), 1-44.

Peng Y., Li S. J., Yan J., Tang Y., Cheng J. P., Gao A. J., Yao X., Ruan J. J. and Xu B. L. (2021). *Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents*. Front. Microbiol. 12.

Pradeep F.S., B.M. Shakila M. Palaniswamy and B. V. Pradeep. (2013). I*nfluence of Culture Media on Growth and Pigment Production by Fusarium moniliforme KUMBF1201 Isolated from Paddy Field Soil*. World Applied Sciences Journal 22(1), 70-77.

Ruiz-Hernández L. G. (2021). *Manual, Programa sectorial de Turismo 2015-2021*. Gobierno de Baja California Sur. 1-44. https://finanzas.bcs.gob.mx/.

Sánchez-Arce O. J., Palacios-Espinosa A., Carillo-Fasio J. A., Hernández-Montiel L. G., Hernández-Rubio J. S. y Romero-Bastidas M. (2021). *Diversidad y distribución de nematodos fitoparásitos en campos de golf en*

localidades de Baja California Sur, México. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 38(3), 651-660.

Stackhouse T., Martínez-Espinoza A. D. and Ali M. D. E. (2020). *Turfgrass Disease Diagnosis: Past, Present, and Future. Plants*, 9(11), 1544; https://doi.org/10.3390/plants9111544.

Capítulo 52

Micoflora de semillas de cebada (*Hordeum vulgare*) de diferente regiones de México

Salazar Huerta Francisco Javier[1*]
Ávila Perches Miguel Angel[2]
Rodriguez Perez Gilberto[1]
Muñoz Valenzuela Sergio[3]
Casas Ramírez Miguel[1]
Martínez Flores Luis[4]

[1] Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Sonora.*-franciscosala.huerta@gmail.com.
[2] INIFAP, Campo Experimental Bajío, km 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende, Roque, Celaya, Gto.
[3] Research Seed Mexicana de R.L de C.V Tobarito Sonora.
[4] Residente de la Carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable TecNM-ITVY.

Resumen

Con la movilización de cebada (*Hordeum vulgare*) de una región a otra del país, se pueden transportar organismos que llegarían a ocasionar serios problemas al cultivo en campo o podrían afectar la calidad al procesar la semilla (grano). La importancia de la caracterización e identificación de los patógenos presentes en la semilla reduce las pérdidas económicas y permite implementar estrategias de manejo fitosanitario efectivas al identificar previamente el agente causal antes de que se manifieste la enfermedad en el campo. El objetivo del presente trabajo fue identificar la micoflora asociada a semillas de seis variedades de cebada de dos regiones de México. De cada una de las variedades de las dos regiones se tomó una muestra de 100 g de semilla; para cada uno de los tratamientos, se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Para cada repetición se sembraron 10 semillas en caja Petri, las cuales se incubaron en una cámara de crecimiento a 20°C durante siete días. Posteriormente, se contabilizó el número de semillas sanas y dañadas. Se identificaron ocho géneros de hongos, cuatro patógenos y cuatro saprofitos; se observó una mayor incidencia y frecuencia de hongos en la localidad del Bajío. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre localidades, no así para los fungicidas. Sin embargo, tiofanoato + piraclostrobina presentó una menor incidencia de hongos en las dos localidades evaluadas.

Introducción

En México, durante 2024, se establecieron alrededor de 348 695 ha con cebada y se cosecharon poco más de 783 000 t; de estas, el 85 % se obtiene principalmente en el Altiplano Central en temporal durante el ciclo primavera-verano y el resto se produce en Guanajuato, Chihuahua y Michoacán bajo riego en el otoño-invierno. Los principales estados productores son Hidalgo y Guanajuato, que cosechan el 41,1 % de la producción nacional

(Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024). Uno de los factores limitantes que afectan la producción de cebada es la presencia de organismos causantes de enfermedades; estas pueden presentarse dentro o fuera de la semilla. Además de la contaminación que algunos patógenos producen en forma de toxinas que son consideradas por los graves efectos crónicos y agudos que producen y su estabilidad durante los procesos de elaboración de los alimentos, entre estas se encuentran la ocratoxina A (OTA), tricotecenos y fumonisinas. La OTA es sintetizada por especies fúngicas de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, mientras que los otros dos grupos de compuestos son sintetizados por distintas especies del género *Fusarium*. Las especies de Fusarium producen las toxinas principalmente durante la colonización y, a menudo, la infección severa de las plantas, especialmente en la fase de floración y formación de la semilla. La producción de la toxina ocurre en muchos casos sin que haya una sintomatología aparente (Nicholson et al., 2003). En los casos de *Aspergillus* y *Penicillium*, la producción de la toxina tiene lugar durante y, especialmente, después de la cosecha, en la fase de almacenamiento. En México, existen pocas investigaciones realizadas con respecto a patógenos transmitidos por semillas. El objetivo del presente trabajo fue determinar la micoflora asociada a semillas de cebada de seis variedades de dos regiones de México, así como la efectividad de dos fungicidas, carboxin + thiram y tiofanato + piraclostrobina, en tratamiento de semilla.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, localizado en el sur de Sonora (27° 41' 54" N, 110° 13' 03" O, y una altitud de 40 msnm) durante 2025. Se evaluaron seis variedades de cebada (Cuadro 1), provenientes del Valle del Yaqui, Sonora, y del Bajío en Guanajuato. De cada lote de semilla se tomó una muestra de 100 g de semilla (2000 semillas), y se distribuyó en: a) Testigos (semilla sin tratar), b) semilla con carboxin+thiram (C+T), y c) semilla con tiofanato+piraclostrobina (T+P). Las dosis utilizadas de los fungicidas para tratamiento de semilla fueron las recomendadas en forma comercial para cebada de 1 ml/kg de semilla. Se

realizaron 36 tratamientos (seis variedades x dos regiones x tres tratamientos), bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Cuadro 1. *Variedades de cebada en tratamiento de semilla en laboratorio en el Valle del Yaqui, Sonora.*

Variedad	No. de hileras por espiga	Origen y Riego
1.-Guanajuato	dos	INIFAP R
2.-Metcalfe	dos	Francia T y R
3.-Prunella	dos	INIFAP T
4.-Alina	seis	INIFAP T F
5.-Esperanza	seis	ICAMEX T y R
6.-Doña Josefa	seis	INIFAP T

ICAMEX: Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. T: Temporal. R: Riego. F: Forraje

Se realizó la preparación de Papa-Dextrosa-Agar (PDA), al que se le agregó ácido láctico a dosis de 10 ml/l de PDA en el momento de su preparación, para restringir el crecimiento de bacterias. Las semillas para el caso de los tratamientos testigos se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2 % durante tres minutos. Posteriormente, se secaron en toallas sanitas y fueron sembradas en caja Petri de 90 x 15 mm de diámetro. Para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones con 10 semillas cada una. Una vez que fueron sembradas, estas se colocaron en una cámara de crecimiento, donde se incubaron a temperatura de laboratorio (20 °C ± 2) por un periodo de siete días (International Seed Testing Association [ISTA], 1985). Luego, se procedió a identificar a los distintos hongos encontrados. Se utilizaron las claves, monografías, artículos y publicaciones académicas Barnett, Hunter (1972) y Zillinsky (1984). El criterio utilizado para la identificación de los hongos encontrados fue la observación de sus estructuras al microscopio compuesto. Se contabilizó el número de semillas sin hongos (sanas), con hongos patógenos y saprófitos, según lo reportado por la literatura, para las dos localidades y se obtuvo el porcentaje de incidencia. Por ello, se

realizó un análisis por SAS (Statistical Analysis System) y prueba de comparación de medias Tukey (p = 0.05). Castillo (2003). También del total de semillas obtenidas por localidad, se obtuvo la frecuencia de las diferentes especies de hongos.

Resultados y discusión

En este estudio se aislaron e identificaron ocho géneros de hongos. Se describieron las características de la colonia y estructuras microscópicas de cada uno de los géneros y especies. Los géneros encontrados con mayor frecuencia fueron: *Alternaria*, *Epicoccum*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Bipolaris*, Penicillium, *Aspergillus* y *Rhizopus* (Cuadro 2). Lo cual concuerda con lo señalado por Zillinsky (1984), Weise (1987) y Warham et al. (1998), donde refieren "que *Alternaría*, *Cladosporium*, *Epiccocum*, *Fusarium* y *Bipolaris*, son los géneros de hongos más comunes en el cultivo de cebada".

Cuadro 2. *Porcentaje promedio de semillas invadidas por hongos en PDA en seis variedades de cebada con fungicidas y un testigo sin aplicar. Valle del Yaqui, Sonora.*

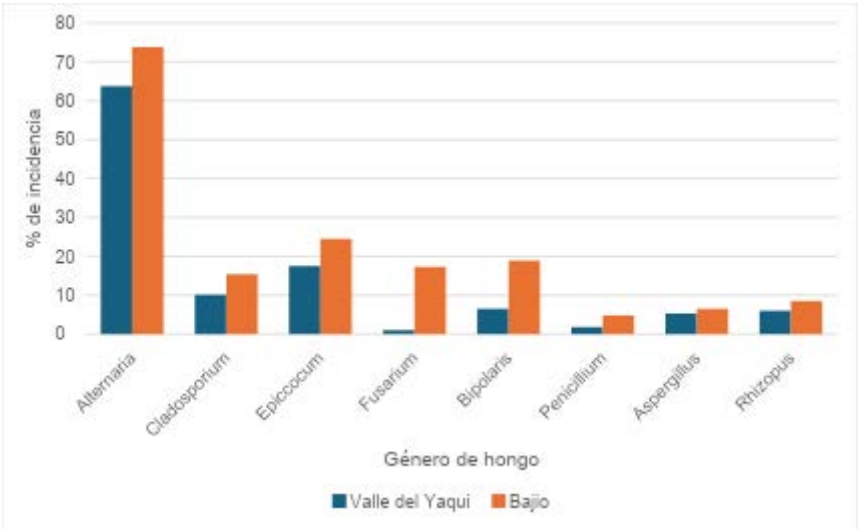
Hongo	Testigo		C+T		T+P	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Alternaría	63.3	73.8	0.8	0.6	0.2	0.2
Cladosporium	10.1	15.4	0.2	0.4	0.1	0.2
Epiccocum	17.5	24.5	0.4	0.6	0.3	0.4
Fusarium	1.0	17.3	0.4	0.6	0.4	0.2
Bipolaris.	6.5	18.9	0.6	0.4	0.1	0.2
Penicillium	1.8	0.3	0.4	0.2	0.4	4.8
Aspergillus	5.3	6.5	0.2	0.4	0.1	0.2
Rhizopus	6.0	8.5	0.6	0.2	0.0	0.2

L1= Valle del Yaqui, Sonora L2=: Bajío. Gto., C+T= Carboxin +Thiram: T+P= Tiofanato metílico+Piraclostrobina.

Como podemos observar en la Figura 1, la mayor incidencia y frecuencia de hongos en la semilla se presentó en Bajío, Guanajuato, debido a que en esa región se presentan precipitaciones durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo, principalmente en floración y llenado de grano

durante los ciclos de cultivo de verano e invierno, lo cual incrementa la incidencia de patógenos en la semilla (Ávila et al., 2024). Asimismo, respecto a la localidad del Valle del Yaqui en Sonora, las incidencias de los géneros de hongos encontrados fueron similares; sin embargo, el porcentaje de frecuencia fue más bajo, debido a que es una región seca con muy poca o nula precipitación durante el desarrollo del cultivo en invierno, lo cual reduce el desarrollo de patógenos en la semilla (Gilchrist, 2000). Esto coincide con lo señalado por Villaseñor y Espitia (2000), donde comentan que la incidencia de los hongos transmitidos por semilla en una determinada región se relaciona directamente con la etapa fenológica del cultivo, la cantidad y la distribución de la precipitación durante el desarrollo del cultivo en campo, los cuales son factores que influyen en la incidencia y severidad de los hongos en la semilla. La incidencia y frecuencia de los hongos encontrados en las dos localidades difirió debido a las condiciones climáticas presentes durante el desarrollo fenológico del cultivo en las diferentes localidades.

Figura 1. *Porcentaje de incidencia y géneros de hongos encontrados en la semilla de seis variedades de cebada en dos localidades. Valle del Yaqui, Sonora.*



Cuadro 3. *Análisis de la incidencia de hongos en la semilla de cebada en dos localidades con y sin fungicidas en el Valle del Yaqui, Sonora.*

Localidad	Testigos	C+T	T+P
Valle del Yaqui, Son.	63.31b	0.52a	0.23a
Bajío, Guanajuato	73.83a	0.57a	0.27a
DMS 0.05	8.34	8.34	8.34

C+T= carboxin+tiram; T+P= tiofanato+piraclostrobin.

El mayor porcentaje de hongos en la semilla fue de la región del Bajío con un 73,83 %; también se observó que, en el caso de los tratamientos de semilla con carboxin + thiram y tiofanato + piraclostrobina, no existió diferencia significativa entre las dos regiones evaluadas. Sin embargo, el tratamiento con tiofanato + piraclostrobina presentó una mayor reducción en la incidencia de los hongos en las dos localidades evaluadas.

Conclusiones

El mayor porcentaje de hongos en la semilla fue de la región del Bajío con un 73,83 %; también se observó que, en el caso de los tratamientos de semilla con carboxin + thiram y tiofanato + piraclostrobina, no existió diferencia significativa entre las dos regiones evaluadas. Sin embargo, el tratamiento con tiofanato + piraclostrobina presentó una mayor reducción en la incidencia de los hongos en las dos localidades evaluadas..

Referencias

Ávila Perches, M.A; Gámez Vázquez, J.A; Zamora Díaz, M.R; Gámez Vázquez, F.P. y Gómez-Espinoza, J (2024). *Rendimiento y características agronómicas de cebada con riego normal y restringido*. In Memoria de la XXXVI Semana Internacional de Agronomía Facultad de Agricultura y Zootecnia, Venecia, Dgo. 966-972.

Barnett, H., y Hunter, B. (1972). *Illustrated genera of imperfect fungi.* (3a ed). Minneapolis, Burgess. Pub. Co.

Castillo, L. (2003). *Introducción a la Estadística Experimental.* (4ta ed.). Universidad Autónoma Chapingo.

Gilchrist, S.L. (2000). *Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México.* Revista Mexicana de Fitopatología 18, 132-137.

International Seed Testing Association. (ISTA). (1985). *International Rules for Seed Testing.* Anexes. Seed Science y Technology 13, 299-355.

Nicholson, P., Chandler, E., Draeger, R.C., Gosman, N.E., Simpson, D.R., Thomsett, M., Wilson, A.H. (2003). *Molecular tools to study epidemiology and toxicity of Fusarium head blight of cereals*. European Journal of Plant Pathology 109, 691-703

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). www.siap.gob.mx

Villaseñor, M. y Espitia, R. (2000). *El trigo de temporal en México.* Chapingo, Estado de México.

Warham, E., Butler, D., y Sulton, B.C. (1998). *Ensayos para la Semilla de Maíz y Trigo: Manual de laboratorio.* Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT).

Wiese, M. (1987). *Compendium of Wheat Diseases.* (2da ed) The American Phytopathological Society.

Zillinsky, F. (1984). *Enfermedades comunes de los cereales de granos pequeños.* Una guía para su identificación. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

VI

Trabajos en cartel

Capítulo **53**

Extractos vegetales y tierra de diatomea para el control de *Sitophilus zeamais motschulsky* en maíz almacenado

Félix Camacho Silvia Alicia[1]
Sánchez Burgos Manuel Eduardo[1]
Cruz Bojórquez Jesús Enrique[1]
González Balcázar Antonio[1]
Cruz Ortega Jacobo Enrique[1]
Leal Bon Teresita de Jesús[1]
Rodríguez Rosas Laura Elena[1]

[1] Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa1. Autor para correspondencia cobicruz@uas.edu.mx.

Resumen

Se estima que del 5 al 10 % de la producción mundial en granos se pierde a causa de los insectos; esto equivale a la cantidad de granos necesaria para alimentar a 130 millones de personas anualmente. Para contrarrestar el daño causado por las plagas de granos almacenados, el hombre ha tenido que emplear estrategias diversas, siendo el método químico el más usado para su control; sin embargo, este tipo de control genera daños al ambiente, salud humana y resistencia en insectos. Recientemente se ha generalizado el uso de extractos vegetales y polvos minerales para contrarrestar los daños provocados por estos insectos. Se efectuó un trabajo con el fin de evaluar el efecto de estas alternativas contra gorgojo en maíz; se usó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos probados fueron: extractos de cítricos, canela, tomillo, regaliz + sauce, ajo, nim, diatomea, químico y un testigo sin aplicación. Las variables de respuesta fueron el porcentaje de mortalidad a los 3, 7, 15 y 30 días después de la aplicación, grano dañado y el efecto en la germinación del maíz. Los resultados indicaron que los tratamientos a base del insecticida y la tierra de diatomea presentaron mortalidades de 100 % en contra de la plaga y sin daño al grano; dentro de los extractos, el de ajo fue el que mostró mayor reducción de la plaga. Los tratamientos probados no afectaron la germinación del grano de maíz.

Introducción

Entre los agricultores de bajos recursos, las pérdidas globales en poscosecha se reportan entre 10 y 40 %; las pérdidas más importantes ocurren bajo condiciones de manejo deficiente y nula asistencia técnica. En regiones tropicales y subtropicales del mundo, los problemas inician cuando el cultivo alcanza la madurez fisiológica, durante el secado del grano en el campo de cultivo y cuando este es almacenado. En México, para regiones subtropicales, se encontró entre 25 y 40 % de daño, con pérdidas entre 10 y 20 %, y en

las regiones tropicales el grado de daño superó 80 % con pérdidas entre 20 y 40 %. Existen más de 250 especies de insectos plagas que atacan los productos almacenados; de estas, 20 son consideradas de gran importancia por su peligrosidad y por el daño que pueden ocasionar en granos almacenados; estas son consideradas plagas primarias por su ataque directo al grano; las pérdidas por ataques de insectos en granos almacenados son cuantiosas a nivel mundial (10 %); esto se agrava en países tropicales, en donde la temperatura favorece el desarrollo de los insectos (García et al., 2009). Salvadores et al. (2007) probaron en laboratorio polvos vegetales provenientes de nueve especies para el control de *S. zeamais* en concentraciones de 0.5; 1; 2 y 4 %, y las mayores mortalidades se obtuvieron con *Piper nigrum* L. a 1 % (83,4 %), 2 % (97,6 %) y 4 % (100 %); Castillo et al. (2010) señalan que las familias Anonaceae, Solanaceae y Meliaceae contienen metabolitos secundarios que muestran efectividad para el control de diversas plagas de insectos. En la familia Annonaceae se han reportado cinco especies de plantas, 10 para Solanaceae y seis especies para la familia Meliaceae. Mazzuferi et al. (2006) señalan que la diatomea a dosis de 0,5, 1,0 y 2,0 kg^{-1} ton de semilla de maíz, sola y combinada con deltametrina, causó mortalidades superiores al 97 % contra gorgojo del maíz y esta protección se prolongó hasta los 120 días después de su aplicación; el mismo comportamiento se observó reflejado cuando fue combinada con el insecticida deltametrina. Doumbia et al. (2014) encontraron que la TD mostró ser tan eficaz como el insecticida pirimifos-metil en tres especies de insectos que atacan granos almacenados, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum* y *Palorus subdepressus*, indicando que es una alternativa viable y no contaminante en el manejo de plagas de productos almacenados. Por todo lo anterior y ante la necesidad de buscar alternativas que controlen el gorgojo del maíz, se decidió realizar el presente trabajo con el objetivo de evaluar la efectividad de extractos vegetales y la tierra de diatomea contra esta plaga.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en el laboratorio de entomología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa; se colectó maíz con la plaga y se usó el criterio establecido por Juárez et al. (2010), colocando los

adultos de esta plaga en frascos de vidrio con capacidad de 5.0 kg, el cual fue lavado y desinfectado. Se taparon con malla de tela y se mantuvieron a una temperatura de 28.5 ± 2.5 °C, humedad relativa de 65.5 ± 2.5 % y un periodo de luz-oscuridad 12/12 h; se usó un diseño experimental completamente al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones. Los extractos usados fueron: extracto de cítricos (T1), canela (T2), tomillo (T3), regaliz + sauce (T4), ajo (T5), nim (T6), tierra de diatomea (T7; 5 g kg^{-1}), deltametrina (T8, 1.0 mL L^{-1}) y un testigo sin aplicación (T9), todos empleados al 5 %. Para la evaluación de los tratamientos se usaron vasos de poliuretano con capacidad de 1.0 L; en cada vaso se depositaron 250 g de grano de maíz, los cuales se dividieron en cuatro vasos para totalizar 1.0 kg por tratamiento. Se aplicaron los tratamientos y posteriormente se realizó la infestación del grano de maíz y se agregaron 10 parejas de *Sitophilus zeamais*, las cuales fueron diferenciadas bajo el microscopio y tomando el criterio de Halstead (1963), el cual señala que el rostrum del macho es más corto y rugoso que el de la hembra. En total se agregaron 20 adultos por repetición distribuidos de manera homogénea en cada vaso para una población total de 80 adultos por tratamiento; se taparon con tela de organza y se confinaron bajo condiciones de laboratorio. Las variables de respuesta fueron el porcentaje de mortalidad (3, 7, 15 y 30 DDA), grano dañado y porcentaje de germinación en maíz. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el SAS (2009) y, al existir diferencias entre tratamientos, las comparaciones de medias con Tukey al 0,05 %; el porcentaje de mortalidad se realizó mediante la fórmula de Abbott (1925). Para daño al grano, se contabilizaron 100 granos de maíz tomados al azar (25 por repetición), se revisaron cuidadosamente de manera visual y bajo el microscopio y se determinó que aquellos granos de maíz que presentaban al menos alguna perforación en su testa se consideraron como grano dañado. Para el efecto sobre la germinación, se sembraron 100 semillas de maíz en charolas de poliuretano que contenían material de germinación a base de peat moss. Se colocaron a temperatura ambiente y se procedió a contabilizar el número de semillas germinadas por cada tratamiento y se compararon con el testigo sin aplicación.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se puede apreciar que en la evaluación registrada a los 7 DDA, los granos de maíz donde se aplicaron los tratamientos de tierra de diatomea a dosis de 5.0 g kg^{-1} y el insecticida deltametrina a la dosis de 1.0 mL L^{-1}. Al realizar el análisis de varianza y las comparaciones de medias respectivas, fueron estadísticamente iguales debido a que mostraron medias de 20 % y mortalidades de 100 %, respectivamente. En esta evaluación, el mejor tratamiento de los extractos fue el del ajo, con una media de 14,2 % de insectos y una mortalidad de 71,0 %, lo que es estadísticamente diferente a los otros extractos y al testigo. En las evaluaciones registradas a los 7, 15 y 30 DDA, se encontró que siguieron la misma secuencia, dado que los mejores tratamientos fueron donde se aplicó el insecticida y la tierra de diatomea con un 100 % de mortalidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Medias y porcentaje de mortalidad obtenido después de la aplicación de los tratamientos contra gorgojo de maíz. 2025.*

Tratamientos	**Medias y % de mortalidad 3 DDA**	**Medias y % de mortalidad 7 DDA**	**Medias y % de mortalidad 14 DDA**	**Medias y % de mortalidad 21 DDA**
Extracto de cítricos (T1)	1.0 c* (5.0)	3.0 de* (15.0)	3.5 cd* (17.5)	4.5 de* (22.5)
Extracto de canela (T2)	2.5 c (12.5)	6.0 c (30.0)	4.2 c (21.0)	7.0 c (35.0)
Extracto de Tomillo (T3)	0.7 c (3.5)	2.0 ef (10.0)	3.5 cd (17.5)	4.7 d (23.5)
Extracto de regaliz + sauce (T4)	1.0 c (5.0)	1.7 ef (8.5)	2.2 de (11.0)	2.2 f (11.0)
Extracto de ajo (T5)	14.2 b (71.0)	15.2 b (76.0)	16.2 b (81.0)	15.0 b (75.0)
Extracto de nim (T6)	2.5 c (12.5)	4.5 cd (22.5)	4.5 b (22.5)	4.0 def (20.0)
Tierra de Diatomea (T7)	20.0 a (100)	20.0 a (100)	20.0 a (100)	19.7 a (98.5)
Deltametrina (T8)	20.0 a (100)	20.0 a (100)	20.0 a (100)	20.0 a (100)
Testigo no aplicado (T9)	0.0 c (0.0)	0.0	0.0	0.0

*Tratamientos con la misma letra no son diferentes estadísticamente según Tukey 0.05

Estos resultados coinciden con lo expuesto por diversos investigadores como Mazzuferi et al. (2006), Doumbia et al. (2014) y Fawzy et al. (2014), quienes señalan que la tierra de diatomeas es una alternativa viable para el control de los insectos plagas de almacén en maíz como *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha* dominica, *Tribolium castaneum*, entre otros.

Con respecto al daño al grano, se encontró que el tratamiento más dañado fue el testigo sin aplicación y que los tratamientos a base de diatomea y deltametrina, protegieron al 100 % el grano de maíz; ningún tratamiento afectó la germinación.

Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son que la tierra de diatomea controló hasta un 100 % del gorgojo de maíz desde los tres y hasta los 21 días después de ser aplicada. Por lo tanto, se considera una alternativa de control para las plagas de granos almacenados y específicamente contra el gorgojo del maíz.

Referencias

Abbott, W.S. (1925). *A method of computing the effectiveness of insecticide*. Journal Economic Entomology; 18, 265-267.

Castillo, S.L.E., Jiménez, O. J.J. y Delgado, H.A.M. (2010). *Secondary metabolites of the Annonaceae, Solanaceae and Meliaceae families used as biological control of insects*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12, 445 -462.

Doumbia, M., Douan, B.G., Kwadjo, K.E., Kra, D.K., Martel, V. and Doumbia, D. (2014). *Effectiveness of diatomaceous earth for control of Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae), Tribolium castaneum and Palorus subdepressus (Coleoptera: Tenebrionidae)*. J. Stored Prod. Res. 57(1), 1-5.

Fawzy I. E., Nour El-Hoda A. Z., Mohamed, Y. H. and A. Sayeda. (2014). *Insecticidal efficacy of certain bio-insecticides, diatomaceous earth and modified atmospheres against Rhyzopertha dominica (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) on stored wheat*. J. Stored Prod. Res. 57(1), 30-35.

García, F.G.F., Ramírez, D.M., Torres, Z.R., Pinto, V.M. y A.S. Ramírez. (2009). *Agentes de control biológico de plagas de granos almacenados*. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 8, 49-56.

Halstead, D. G. H. (1963). *External sex differences in stored products coleoptera.* Bull. Entomol. Res 54: 119-134.

Mazzuferi, V.E., Goncalvez, R.H., Tablada, M. y D. García.(2006). *Efectividad y persistencia de la tierra de diatomeas en el control de Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae) en semillas de maíz y su incidencia en la calidad.* Bol. San. Veg. Plagas 32, 363-371.

Salvadores, Y.U., Silva, G. A., Tapia, M. V. y R. Hepp, G. (2007). *Polvos de Especias Aromáticas para el Control del Gorgojo del Maíz, Sitophilus zeamais Motschulsky, en Trigo Almacenado.* Agricultura Técnica 67(2), 147-154.

SAS. (2009). *Statistical Analysis System Institute*, North Carolina USA v.9.2.

Capítulo **54**

Micropartículas de silicio y ácido acetilsalicílico en plántula de pepino bajo condiciones de casa sombra

Aragón Martínez Sergio A.[1*]
Cázarez Flores Luz Ll.[1]
Aguilar Quiñones José A.[1]
López Orona Carlos A.[1]
Angulo Castro Azareel.[1]
Vega Gutiérrez Tomas A.[1]
Serrano López Luis A.[1]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80000. *Autor de correspondencia sergioaragon0898@gmail.com.

Resumen

El silicio es considerado un elemento cuasi-esencial, pero, a través de los años, se ha encontrado evidencia de los beneficios que se observan al incorporar este elemento a la nutrición de cultivos. El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de observar el efecto de micropartículas de silicio (SiMP) y el ácido acetilsalicílico (ASA), así como cuáles son las dosis más efectivas en las plántulas de pepino, para mejorar variables de crecimiento y de interés agronómico. El experimento consistió en nueve tratamientos y un testigo: 2, 4 y 6 mg L^{-1} SiMP; ASA a concentraciones de 1, 0.01 y 100 µM y proporción de SiMP y ASA a 2 mg L^{-1} de Si y 1 µM, 4 mg L^{-1} de Si y 0.01 µM y 6 mg L^{-1} y 100 µM. Las aplicaciones de los tratamientos fueron foliares a los 17 días después de la emergencia e iniciaron a las 8 a. m. durante una semana en intervalos de 24 horas. Los resultados observados muestran que la dosis de 2 mg L^{-1} de Si fue significativa para PSPR, para ASA, ASA 0.01 µM en verdor y, entre las dosis de Si y ASA, la dosis de Si y ASA 6 mg L^{-1} y 100 µM obtuvo los mayores resultados en altura. Los resultados del experimento demuestran que SiMP y el ASA tienen efectos significativos en el crecimiento y calidad de las plántulas de pepino.

Introducción

El medio de transporte de silicio (Si) en las plantas es en forma de ácido ortosilícico (H_4SiO_4), que se transporta al brote y, tras la pérdida de agua, se polimeriza como gel de sílice en la superficie de hojas y tallos, contribuyendo a los efectos beneficios que conlleva el añadir Si (Ma et al., 2001). También se ha observado que Si incrementa el rendimiento, el contenido nutrimental y la calidad de los frutos (Thimmappa y Nagabovanalli, 2021).

El ácido acetilsalicílico (ASA) mostró ser viable en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) contra estrés por bajas temperaturas mediante la expresión de genes que responden al estrés por bajas temperaturas, en la mejora

de fotosíntesis y el contenido de los antioxidantes (Soliman et al., 2018). ASA mostró ser viable en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) al incrementar significativamente el número de tallos por planta, el vigor vegetativo y la floración (Contreras y Vargas, 2022). El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de observar el efecto de las micropartículas de silicio (SiMP) y el ácido acetilsalicílico (ASA), así como cuáles son las dosis más efectivas en las plántulas de pepino, para mejorar variables de crecimiento y de interés agronómico.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de Casa Sombra de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizado en las coordenadas 24° 48' 30" N y 107° 24' 30" O, a 38.54 m de altitud; el experimento consistió en una repetición, ciclo otoño-invierno (OI). El ciclo OI empezó el día 20 de diciembre de 2023 y se cosechó el 05 de febrero de 2024 (44 días). Se sembraron semillas de pepino cv. Persa, en charolas de poliestireno rellenadas con *peat moss* de la marca Bergel®, 60 plántulas por tratamiento. Los tratamientos fueron: Si orgánico al 85 % (tierra de diatomea) del fabricante Aureoh Life and Garden® en concentraciones de 2, 4 y 6 mg L^{-1}; de ASA (Aspirina de la marca Bayer®) en concentraciones de 1, 0.01 y 100 μM (Tucuch-Haas et al., 2021); y relación de Si orgánico y ASA con 2 mg L^{-1} de Si y 0.01 μM de ASA, 4 mg L^{-1} de Si y 0.1 μM de ASA, 6 mg L^{-1} de Si y 1 μM de ASA; y un testigo. Se fertilizó con solución Steiner al 25 % desde el primer par de hojas verdaderas y al 50 % desde el segundo par de hojas verdaderas. Las aplicaciones de los tratamientos fueron vía foliar con un aspersor manual; a los 17 días después de la emergencia (DDE) y empezaron a las 8 a. m., durante una semana en intervalos de 24 horas. Como fuente de ASA se utilizaron tabletas efervescentes solubles de aspirina de la marca Bayer® con un contenido de 500 mg de ASA. Para la obtención de las diferentes concentraciones de ASA, se tomó en cuenta el peso molecular del ASA (180.158 g M-1), así como la concentración y peso de las tabletas marcadas en el empaque.

A los 40 DDE, se tomaron 20 plántulas por tratamiento al azar y se midió: altura de planta, medida con una cinta métrica (Flexico®) desde la

base del tallo hasta la última hoja; verdor foliar, evaluado en la cuarta hoja a partir del ápice utilizando un medidor SPAD-502 (Minolta®); y peso seco de la parte aérea (PSPA) y de la parte radicular (PSPR). Las plántulas se sometieron a un proceso de secado durante 72 h en estufa (modelo 292, Felisa®) a 70 °C. Después, se midieron los pesos secos mediante la utilización de una balanza granataria (modelo CZ 30, de la marca Aczet®). Para el peso seco total (PST), se sumaron los pesos secos de parte aérea y radical. El diseño experimental fue DCA con submuestras. Para el análisis estadístico se usó la prueba de Tukey para aquellas variables que cumplieron con normalidad y homocedasticidad de varianzas; para aquellas variables que no cumplieron con al menos uno de estos supuestos, se utilizó la prueba de Games-Howell.

Resultados y discusión

Cuadro 1. *Efecto de micropartículas de silicio y ácido acetilsalicílico en altura, verdor foliar y peso seco parte radicular en plántula de pepino.*

Tratamiento	Altura*	Verdor	PSPA	PSPR*	PST
Si 2 mg L^{-1}	39.99 a	40.58 ab	5.33 ab	0.46 a	5.79 ab
Si 4 mg L^{-1}	43.38 a	35.96 bc	3.74 b	0.26 b	4.00 ab
Si 6 mg L^{-1}	44.60 a	39.75 ab	4.49 ab	0.24 b	4.73 ab
ASA 1 µM	42.45 a	37.33 bc	4.89 ab	0.28 b	5.17 ab
ASA 0.01 µM	42.39 a	42.99 a	5.54 a	0.33 ab	5.56 a
ASA 100 µM	44.86 a	36.77 bc	4.12 b	0.24 b	4.35 b
Si y ASA 2 mg L^{-1} y 1 µM	43.32 a	35.73 bc	3.76 b	0.33 ab	4.09 b
Si y ASA 4 mg L^{-1} y 0.01 µM	40.73 a	33.31 c	3.78 b	0.26 b	4.04 b
Si y ASA 6 mg L^{-1} y 100 µM	46.27 a	37.80 abc	4.64 ab	0.24 b	4.88 ab
Testigo	39.82 a	33.73 c	4.55 ab	0.28 b	4.83 ab
C.V*	17.68	14.37	16.61	28.69	16.35

Media; C.V: coeficiente de variación; diferentes letras dentro de cada columna muestran diferencia estadística significativa con la prueba de Games-Howell ($p \leq 0.01$); Altura y PSPR se evaluó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.01$).

Para altura, las plántulas tratadas con Si y ASA 6 mg L^{-1} y 100 µM, en relación al testigo, aumentaron en 16,20 %. Esto coincide con lo reportado

por Etesami y Jeong (2018), quienes mencionan el efecto del Si en la elongación celular; esto sugiere un efecto sinérgico entre el Si y ASA en la promoción de altura. En el verdor, se encontró que la dosis de ASA 0.01 µM aumentó en 27 %, en relación al testigo; este resultado es consistente con la capacidad del ASA para mejorar la eficiencia fotosintética (Khan et al., 2003). Para PSPA, no hubo diferencias significativas, pero se encontró que la dosis de ASA 0.01 µM aumentó 21,76 %. Estos resultados concuerdan con hallazgos donde observaron que el ASA puede influir sobre la tasa fotosintética (Khan et al., 2003). Para PSPR, se encontraron diferencias significativas; las plántulas tratadas con Si 2 mg L^{-1} superaron al testigo en 64,29 %. Esto sugiere que la adición de Si puede favorecer el crecimiento radicular, aumentar la resistencia a condiciones adversas y mejorar el rendimiento, como observaron (Johnson et al., 2022).

Conclusiones

Los resultados observados muestran que la dosis de 2 mg L^{-1} de Si, fue significativa para PSPR, para ASA, ASA 0.01 µM en verdor y, entre las dosis de Si y ASA, la dosis de Si y ASA 6 mg L^{-1} y 100 µM obtuvo los mayores resultados en altura. Los resultados demuestran que SiMP y el ASA tienen efectos significativos en el crecimiento y calidad de las plántulas de pepino.

Referencias

Contreras-Liza, S. y Vargas-Luna, L. (2022). *Use of acetylsalicylic acid and agronomic performance of potatoes in Lima region*. CABI Agriculture and Bioscience, 3(1), 19. https://doi.org/10.1186/s43170-022-00088-5

Etesami, H. y Jeong, B. R. (2018). S*ilicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants.* Ecotoxicology and environmental safety, 147, 881-896. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063

Johnson, S. N., Chen, Z. H., Rowe, R. C. y Tissue, D. T. (2022). *Field application of silicon alleviates drought stress and improves water use efficiency in wheat.* Frontiers in Plant Science, 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030620

Khan, W., Prithiviraj, B. y Smith, D. L. (2003). *Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates.* Journal of plant physiology, 160(5), 485-492. https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865

Ma, J. F., Miyake, Y. y Takahashi, E. (2001). *Silicon as a beneficial element for crop plants.* Studies in plant Science, 8, 17-39. https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80006-9

Soliman, M. H., Alayafi, A. A., El Kelish, A. A. y Abu-Elsaoud, A. M. (2018). *Acetylsalicylic acid enhance tolerance of Phaseolus vulgaris L. to chilling stress, improving photosynthesis, antioxidants and expression of cold stress responsive genes.* Botanical studies, 59(1), 1-17. https://doi.org/10.1186/s40529-018-0222-1

Thimmappa, P. y Nagabovanalli B. P. (2021). *Yield, Quality and Nutrient Content of Tomato in Response to Soil Drenching of Silicic Acid.* Agricultural Research, 1-11. https://doi.org/10.1007/s40003-020-00526-8

Tucuch-Haas, C. J., Angulo-Castro, A., Tucuch-Haas, J. I., Mejia-Delgadillo, M. A., y López-Orona, C. A. (2021). *Use of Aspirine® (Acetylsalicilico acid) in the yield of grain of corn crop.* Revista bio ciencias, 8. https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1035

Capítulo **55**

Efecto de bacterias endófitas nodulantes en la germinación y vigor de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

López-Mora Karla Celina[1]
Valenzuela-Escoboza Fernando Alberto[1]
Rabago-Zavala Karen[1*]
Ayala-Armenta Quintín Armando[1]
González-Molotla Iris Alejandrina[1]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Avenida Japaraquí s/n y Calle 16, Juan José Ríos, 81110, Sinaloa, México. *Karenrabago@favf.mx.

Resumen

El cultivo del frijol en el estado de Sinaloa ocupa el segundo lugar en importancia económica, después del maíz. Es la leguminosa más relevante para consumo humano a nivel mundial, debido a que constituye una fuente esencial de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales. En la presente investigación se evaluó el efecto de bacterias endófitas nodulantes, aisladas de frijol cultivado en el norte de Sinaloa, sobre la germinación de semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Los aislados fueron caracterizados morfológicamente, purificados y posteriormente utilizados para inocular semillas en condiciones controladas de laboratorio, empleando sustrato *peat moss* con humedad óptima. Se registró la emergencia de plántulas a los 3, 5, 7 y 9 días después de la siembra. Los resultados mostraron que las semillas inoculadas presentaron una germinación más rápida y con mayor porcentaje respecto al testigo sin inóculo. En particular, el aislado ABNRF8 alcanzó 100 % de germinación a los cinco días. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Estos hallazgos sugieren que el uso de rizobacterias endófitas nodulantes puede favorecer el establecimiento inicial del cultivo y constituye una alternativa sustentable para mejorar la productividad del frijol.

Introducción

El frijol pertenece a la familia Fabaceae. En el mundo se conocen alrededor de 150 especies, de las cuales aproximadamente 70 se encuentran en México, con una gran diversidad de tamaños y colores. En el ciclo agrícola 2024–2025, Sinaloa registró una superficie sembrada de 100 mil hectáreas de frijol, con una producción estimada de 150 a 180 mil toneladas (SIAP, 2025). Este cultivo es fundamental para la seguridad alimentaria, ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales.

Existen bacterias capaces de inducir en las raíces de las leguminosas la formación de estructuras especializadas llamadas nódulos, donde el nitró-

geno atmosférico (N_2) estable e inerte se reduce a iones amonio (NH_4^+), fácilmente asimilables por la mayoría de las especies vegetales (López et al., 2021). Los rizobios, como grupo de bacterias rizosféricas, tienen la capacidad de nodular leguminosas presentes en su hábitat natural en diversos estados fisiológicos (Poole, 2008). Diversos estudios han demostrado que estas rizobacterias favorecen los parámetros de crecimiento y rendimiento en plantas (Granda et al., 2009).

El uso de inoculantes a base de bacterias nodulantes reduce la aplicación de fertilizantes químicos, incrementa el contenido de N en el cultivo, aumenta la biomasa y contribuye a mantener el rendimiento de las leguminosas. En consecuencia, disminuye el costo de producción y la contaminación de mantos acuíferos y suelos, siendo una herramienta esencial para la agricultura sustentable. Así, la utilización de *Rhizobium* constituye una alternativa económica y ecológicamente viable para mejorar los cultivos, los suelos y los ecosistemas en general (Sueiro et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de bacterias endófitas nodulantes sobre la germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), con el fin de determinar su influencia en el vigor y desarrollo inicial de las plántulas.

Materiales y métodos

Aislamiento de bacterias nodulantes

Se realizó un muestreo en cinco oros de aproximadamente 50 lotes en los municipios de Ahome, El Fuerte y Guasave, de cultivos de frijol en el norte de Sinaloa, recolectándose aproximadamente 50 lotes de plantas con nódulos característicos de bacterias fijadoras de nitrógeno. Las muestras fueron colocadas en bolsas estériles y transportadas al laboratorio, donde se llevó a cabo la desinfección y aislamiento de los microorganismos.

Obtención de cepas nativas a partir de nódulos

El procesamiento de los nódulos se realizó siguiendo la metodología descrita por Somasegaran y Hoben (1985). Los nódulos fueron desinfectados por inmersión en hipoclorito de sodio al 1 % durante tres minutos, y pos-

teriormente enjuagados con agua destilada estéril (ADE). Posteriormente, fueron macerados en placas Petri estériles. El extracto se sembró por estría en placas con agar nutritivo, previamente esterilizado a 121 °C por 15 minutos. Las placas se incubaron a 28 °C durante 2 a 10 días, observando diariamente el crecimiento de colonias características de rizobios, de acuerdo con el manual del CIAT (1988). Las colonias típicas fueron resembradas por estría cruzada, verificando la pureza de los cultivos. Los cultivos puros se transfirieron a tubos con caldo nutritivo y se incubaron a 28 °C en agitación.

Inoculación y diseño experimental

Se sembraron bolsas con sustrato peat moss, colocando cinco semillas por bolsa y cuatro repeticiones por tratamiento, con un total de nueve tratamientos en un diseño completamente al azar. Se realizaron conteos de germinación a los 3, 5, 7 y 9 días después de la siembra. El análisis estadístico se efectuó en el programa Infostat, aplicando la prueba de Kruskal–Wallis ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con bacterias nodulantes y el testigo sin inóculo. El mejor resultado se obtuvo con el aislado ABNRF8, con 90 % de germinación al día cinco y 100 % a los nueve días (cuadro 1). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Yadegari y Rahamani (2010), quienes registraron mayores porcentajes de germinación en frijol al inocular semillas con cepas de Rhizobium o en combinación con Pseudomonas fluorescens. El efecto se atribuye a la secreción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal que estimulan procesos metabólicos en las semillas (Granda et al., 2009).

En el Cuadro 1, se observa el porcentaje de germinación a los tres, cinco, siete y nueve días, donde se muestran diferencias significativas en comparación con el testigo sin inóculo. En el día tres, el aislado ABNRF7 presenta mayor porcentaje de germinación. En el día cinco, el aislado ABNRF8 obtuvo un mayor porcentaje de germinación, alcanzando el 90 por ciento de germinación.

Cuadro 1. *Evaluación de bacterias nodulantes en el proceso de germinación de frijol.*

Tratamiento	3 Días	5 Días	7 Días	9 Días
TESTIGO	10 A	40 A	50 A	60 A
ABNRF1	15 AB	55 AB	60 AB	70 AB
ABNRF2	10 B	65 ABC	70 ABC	95 ABC
ABNRF3	15 AB	65 ABC	70 ABC	90 CD
ABNRF4	15 A	75 BCD	75 BCD	80 ABC
ABNRF5	20 AB	80 CD	85 CD	85 BC
ABNRF6	10 BC	80 CD	85 CD	90 CD
ABNRF7	25 C	85 D	90 D	95 CD
ABNRF8	20 A	90 D	95 D	100 D

Prueba de Kruskal–Wallis. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p < 0.05$).

Conclusiones

La inoculación de semillas de frijol con bacterias endófitas nodulantes incrementó significativamente el porcentaje y rapidez de germinación respecto al testigo sin inóculo. Los aislados ABNRF2, ABNRF7 y ABNRF8 mostraron el mayor potencial, alcanzando hasta 100 % de germinación en nueve días. Estos resultados confirman la utilidad de rizobios nativos como estrategia sustentable para favorecer el establecimiento inicial de *Phaseolus vulgaris* L.y reducir la dependencia de insumos químicos en la agricultura.

Referencias

Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Quintero Rodríguez, E., Olivera Viciedo, D., y Peña Calzada, K. (2019). *Efecto de la aplicación asociada entre Rhizobium leguminosarum y microorganismos eficientes sobre la producción del fríjol común.* Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 20(2), 295–308.

Cabrera Romero, Y. L., Santana Baños, Y., y Miranda Izquierdo, E. (2017). *Efecto de la inoculación de Rhizobium sobre el crecimiento de Phaseolus vulgaris en condiciones semicontroladas.* Avances, 19(1), 66–74.

Cantaro-Segura, H., Huaringa-Joaquín, A., y Zúñiga-Dávil, D. (2019). *Efectividad simbiótica de dos cepas de Rhizobium sp. en cuatro variedades de frijol*

(Phaseolus vulgaris L.) en Perú. Idesia (Arica), 37(4), 73–81. https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000400073

Cruz, R. (s/f). *Aprovechamiento de residuos orgánicos a través de composteo y lombricomposteo*. UAAAN, Departamento de Fitomejoramiento.

Granda Mora, K. I., Colás Sánchez, A., Gutiérrez Sánchez, Y., Cupull Santana, R., Alvarado Capó, Y., y Torres Gutiérrez, R. (2016). *Efecto de aislados de Rhizobium sobre parámetros fenotípicos y la fijación de nitrógeno en genotipos de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Centro Agrícola, 43(1), 62–70. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0253-57852016000100009

López-Alcocer, J. J., Lépiz-Ildefonso, R., González-Eguiarte, D. R., Rodríguez-Macías, R., y López-Alcocer, E. (2020). *Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de Rhizobium spp. recolectadas en frijol cultivado y silvestre*. Terra Latinoamericana, 38(4), 841–852. https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.654

Capítulo **56**

Evaluar el efecto de cuatro sustratos, sobre la concentración de clorofila a, b y total en hojas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) Mediante análisis espectrofotométrico)

García Villaseñor Julio Cesar[1]
Fuentes Verduzco Cipriano[1*]
Sauceda Acosta Carlos Patricio[1]
Ruelas Islas Jesús Del Rosario[1]
Rábago Zavala Karen[1.]

[1] Universidad autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte,. Calle 16 y Avenida Japaraqui, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México. C.P 811101. *cipria-nofuentes@favf.mx.

Resumen

La clorofila es un pigmento esencial en las plantas. Es importante para varias funciones de la vida vegetal y, por ende, la vida en nuestro planeta. Es responsable de absorber la energía luminosa del sol y convertirla en energía química; también, durante la fotosíntesis, las plantas liberan oxígeno gracias a la acción de la clorofila. Este oxígeno es vital para la respiración de casi todos los seres vivos. En las plantas funcionan como indicador de salud debido a que el verdor de las hojas puede reflejar estrés hídrico, deficiencia de nutrientes e incluso enfermedades. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro sustratos sobre la concentración de clorofila a, b y total en hojas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) mediante análisis espectrofotométrico. Se utilizó acetona al 80 %, se midió con el uso de espectrofotómetro en dos longitudes de onda para determinar clorofila a y b (663 nm y 645 nm); los sustratos utilizados fueron peat moss, fibra de coco, urea-formaldehído y soca de maíz. Con base en el análisis de los datos, podemos concluir que el tipo de sustrato influye directamente en la capacidad fotosintética de las plantas, y que tratamientos como fibra de coco y peat moss pueden ser más efectivos para promover la acumulación de pigmentos fotosintéticos.

Introducción

La clorofila es un pigmento verde existente en las plantas, algunas algas y bacterias que permite llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Mediante la conversión de energía luminosa en energía química (Mathews et al., 2013). Existen diferentes tipos de clorofila: la A, que se encuentra presente en la mayoría de los vegetales y es la encargada de absorber la luz durante la fotosíntesis; la B, que se encuentra presente en los cloroplastos, se encarga de absorber la luz a otra longitud y transfiere la energía a la clorofila A; la C, que está presente en los cloroplastos de las algas pardas y las diato-

meas; y, por último, la D, que se encuentra únicamente en las algas rojas (Fernández, 2010). La extracción de clorofila en tejidos vegetales mediante acetona al 80 % es una técnica ampliamente utilizada por su eficiencia y simplicidad. Este método permite disolver los pigmentos fotosintéticos presentes en las hojas, facilitando su cuantificación espectrofotométrica a través de mediciones de absorbancia en longitudes de onda específicas (663 nm y 645 nm). Según Senthilkumar et al. (2020), este procedimiento es ideal para estudios fisiológicos en plantas, ya que proporciona resultados reproducibles y es compatible con las fórmulas clásicas de Arnon para calcular clorofila a, b y total. La espectroscopía es una técnica con aplicaciones variadas, desde la detección de exoplanetas hasta la industria (como la agronómica) o la biología (como en la detección de diferentes estados de compuestos basados en un cambio en la emisión de fluorescencia). La clorofila es un componente indispensable de la fotosíntesis. Cuando las plantas comienzan a morir o se encuentran en situaciones estresantes (falta de agua o nutrientes), se produce la degradación de este componente; en consecuencia, genera una variación en su espectro de fluorescencia (principalmente en la intensidad, pero también en el corrimiento de los picos del espectro) (K. Maxwell y G. N. Johnson, 2000). Por esta razón, la espectroscopía se utiliza como una técnica no invasiva para evaluar el estado de los cultivos. El objetivo fue evaluar el efecto de cuatro sustratos sobre la concentración de clorofila a, b y total en hojas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) mediante análisis espectrofotométrico.

Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica y Politécnica del Valle del Carrizo, localizada en la sindicatura de Villa Gustavo Díaz Ordaz, perteneciente al municipio de Ahome, con coordenadas 26°16'20.8"N 109°02'20.5"W. Se trabajó en coordinación con la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte en el municipio de Juan José Ríos, con coordenadas 25°45'19.9"N 108°50'20.8"W. Se utilizó un invernadero con techo de plástico blanco lechoso y paredes cubiertas de malla antiáfidos; constaba de 108 m^2 como unidad experimental. La siembra de las semillas se realizó en charolas de 128 cavidades. El híbrido utilizado fue de la empresa Harris Moran, llamado Dante. La siembra se efectuó el día 11 de diciembre de 2024 y las

plántulas emergieron 15 días después de la siembra. Se aplicó fertilización en el riego dos veces por semana con fertilizante NPK al 20 %, con una conductividad de 1.5 $dS \cdot m^{-1}$. El trasplante de las plántulas se realizó el día 11 de marzo en 16 macetas, cuatro por cada sustrato que se menciona más adelante. Estas macetas fueron bolsas de polipropileno de color blanco en el exterior y negro en el interior, con una capacidad de 10 litros y medidas de 35 × 35 cm. Se utilizaron cuatro tipos de sustratos biodegradables: fibra de coco, peat moss, urea-formaldehído y soca de maíz; los tratamientos fueron proporcionados de los mismos riegos. Se tomaron muestras de hojas de cada sustrato, las cuales fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, donde se pesaron 0.2 gramos de cada muestra. Las hojas se molieron en morteros y se les agregaron 15 ml de acetona al 80 % para su maceración. Posteriormente, se colocó en tubos de ensayo para centrifugar y separar las impurezas. Se procedió a evaluar la absorbancia del contenido de clorofila, utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (Lichtenthaler y Wellburn, 1983).

Para la obtención de clorofila se utilizaron las siguientes fórmulas: clorofila a = 12.7 × A663 + 2.69 × A645, clorofila b = 22.9 × A645 − 4.68 × A663, clorofila total = 8.02 × A663 + 20.21 × A645 (Arnon, 1949).

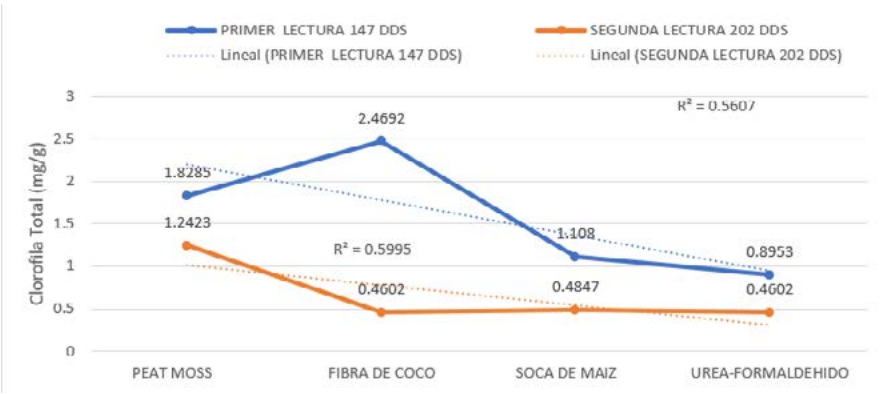
Se utilizó un diseño DCA (diseño completamente al azar); los datos se analizaron con el programa estadístico Infostat® versión 2020, mediante un análisis de varianza (ANOVA), y se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para comparación de medias.

Figura 1. *Experimento establecido.*

Resultados y discusión

Este estudio evidencia que el tipo de sustrato influye significativamente en la concentración de clorofila total en hojas de chile jalapeño, con diferencias claras entre tratamientos en dos momentos del desarrollo (142 y 202 DDS). La fibra de coco y el *peat moss* fueron los sustratos más efectivos, lo que coincide con lo reportado por Ruiz Santiago et al. (2019), quienes también observaron variaciones significativas en el contenido de clorofila mediante espectrofotometría, validando así la metodología empleada.

Figura 2. *Clorofila total en dos lecturas en distintos días.*



La fibra de coco mostró mejores resultados en etapas iniciales por su alta retención de agua y aireación, mientras que el peat moss destacó en fases más avanzadas gracias a su liberación estable de nutrientes. Esto sugiere que la acumulación de clorofila está influida tanto por el estado fenológico de la planta como por las propiedades físico-químicas del sustrato.

Para la cuantificación de clorofila a y b se utilizó acetona al 80 %, técnica respaldada por Arnon (1949). Saini et al. (2022) señalan que mezclas como etanol-acetona pueden mejorar la eficiencia de extracción según el tejido vegetal, lo que abre la puerta a optimizaciones metodológicas en futuras investigaciones. Las diferencias estadísticas entre tratamientos también se relacionan con el estado nutrimental de las plantas, especialmente con la disponibilidad de nitrógeno, como indican Sachdchina y Dimitrieva (1995). Así, los sustratos que favorecieron mayor contenido de clorofila

podrían reflejar una nutrición más equilibrada y un mejor rendimiento fotosintético. Este trabajo aporta evidencia sobre la influencia del sustrato; se recomienda considerar en estudios futuros factores como la estabilidad del pigmento posextracción, condiciones de almacenamiento y técnicas asistidas como ultrasonido, CO_2 supercrítico o enzimas, tal como sugieren Maxwell y Johnson (2000) y ACS (2021), para lograr una caracterización más completa del comportamiento de la clorofila.

Conclusiones

El presente estudio permitió demostrar que el tipo de sustrato utilizado en el cultivo de chile jalapeño influye significativamente en la concentración de clorofila total en las hojas, lo cual tiene implicaciones directas sobre la capacidad fotosintética de las plantas, y se logró cuantificar con precisión los niveles de clorofila total en dos momentos clave del desarrollo del cultivo: a los 142 y 202 días después de siembra.

Referencias

Arnon, D. I. (1949). *Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1), 1–15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Carter, G. A., y Knapp, A. K. (2001). *Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration*. American Journal of Botany, 88(4), 677–684. https://doi.org/10.2307/2657068

Fernández, T. (2010). *Propiedades y beneficios de la clorofila*. Vix. https://www.vix.com/es/imj/salud/2010/04/19/propiedades-y-beneficios-de-la-clorofila

Lichtenthaler, H. K., y Wellburn, A. R. (1983). *Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents*. Biochemical Society Transactions, 11(5), 591–592. https://doi.org/10.1042/bst0110591

Mathews, K. C., Van Holde, K. E., Appling, D. R., y Spencer, J. A. (2013). *Bioquímica*. 678–679. Pearson Education.

Maxwell, K., y Johnson, G. N. (2000). *Chlorophyll fluorescence—a practical*

guide. Journal of Experimental Botany, 51(345), 659–668. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659

Ruiz Santiago, F. L., Ruiz Velázquez, J. A., Hernández Becerra, J. A., García Jiménez, R., y Valadez Villarreal, A. (2019). *Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco.* Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4, 891–896.

Sachdchina, T.M. y V.V. Dimitrieva. (1995). *Contenido de clorofila en las hojas como posible medio de diagnóstico para la evaluación de la absorción de nitrógeno por las plantas desde el suelo*. Plant Nutr. 18.

Saini, D., Singh, G., y Kant, A. (2022). *A comparative study on estimation methods for efficient extraction of chlorophyll a and carotenoids using different solvents*. Botany and Plant Analysis Science, 1(1), 23–31. https://doi.org/10.25081/bpasbot.2022.v1.8344

Senthilkumar, M., Amaresan, N., y Sankaranarayanan, A. (2020). *Determination of chlorophyll.* In Plant-microbe interactions. 145–146. Springer Protocols Handbooks. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1080-0_37.

Capítulo **57**

Impacto del HLB en la producción de naranja valencia y marrs en Veracruz

San Martín Matheis Héctor A.[1*]
Flores Sánchez Jorge L.[2]
Domínguez Monge Santiago[3]
Félix Camacho Silvia[1]
Cruz Bojórquez Jesús E.[1]
González Balcazar Antonio[1]
Magaña Félix Teodoro E.[1]

[1] Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán – El Dorado Km 18.5. * hectorsanmartin@uas.edu.mx.
[2] Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, Carretera Aguascalientes – Aguascalientes ,Aguascalientes, México.
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Ixtacuaco, Carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Veracruz México.

Resumen

La enfermedad del Huanglongbing (HLB) ocasionada por *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas) genera pérdidas significativas en la producción de cítricos, tales como la reducción del rendimiento; además, afecta características morfológicas y organolépticas del fruto, tales como diámetro ecuatorial y polar, pH, grados brix y volumen de jugo. El objetivo del presente estudio fue estimar los impactos productivos del HLB en dos variedades de naranja dulce: Valencia y Marrs, en el norte de Veracruz. Se seleccionaron tres huertas de naranja dulce en el ciclo 2021-2022. Las pérdidas fueron en volumen de jugo (58,11 %), peso (54,63 %), grados Brix (24,02 %) y pH (24,01 %). Las CLAS en cítricos dulces repercuten en la productividad de los huertos y la baja producción afecta a las industrias exportadoras de cítricos dulces..

Introducción

La citricultura es una actividad de gran importancia para la economía mexicana. En los últimos años, esta actividad se ha posicionado de manera significativa como el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel nacional y ha colocado a nuestro país dentro de los líderes en cuanto a superficie y producción se refiere. México ocupa el quinto lugar como mayor productor a nivel mundial (SADER, 2025). Dentro de México, Veracruz destaca como el principal estado productor de cítricos con una producción anual de 4 595 128.53 toneladas de naranja dulce en 164 649 ha (SIAP, 2025), lo cual genera una economía de gran relevancia para la región.

Sin embargo, en los últimos años los cítricos han sido fuertemente afectados por la enfermedad del HLB, causando disminución tanto en productividad como en calidad de frutos, generando notables pérdidas económicas (Flores et al., 2015; Gotwald et al., 2007).

El HLB es provocado por la bacteria Candidatus Liberibacter asiaticus y diseminado por Diaphorina citri. Esta bacteria infecta el floema y provoca

que los nutrientes no circulen de manera adecuada. Los síntomas típicos de la enfermedad son: hojas con moteados difusos, esto es, coloración verde con amarillo, nervaduras acorchadas y necrosadas. Los frutos son de menor tamaño, asimétricos, con reverdecimiento y variables en calidad de jugo, como grados Brix y pH. La bacteria presenta mayor o menor severidad en relación con la especie cítrica, con síntomas variables y, a su vez, dificultando el reconocimiento de la enfermedad en el campo (Gotwald, 2010).

En los últimos años, algunos de los municipios citrícolas más importantes de Veracruz han reportado una disminución drástica del rendimiento de sus huertas, por la presencia de HLB, confirmado por el SENASICA. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como finalidad determinar los impactos productivos del HLB en naranja dulce de las variedades Valencia y Marrs en Veracruz.

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en huertas de las regiones de Tihuatlán (dos huertas) y La Concepción (una huerta), Veracruz, durante los ciclos 2021 y 2022. En dichos sitios se registró una incidencia del 100 % de HLB, anteriormente confirmado positivo a CLas por el SENASICA por la técnica de PCR.

El experimento consistió en un diseño de bloques con tratamientos apareados, árboles sanos (T1) adyacentes a árboles enfermos, de los cuales se consideraron ramas sintomáticas (T2) y asintomáticas (T3). Se seleccionaron 10 árboles distribuidos en cuatro bloques apareados de árboles sanos y enfermos. Los bloques se seleccionaron en forma dirigida a focos de enfermedad. Esta metodología es análoga a la empleada por Cristóbal et al. (2006) para reducir la variabilidad de los datos por efectos de intensidad, periodos de infección, fertilidad de suelo y manejo agronómico del huerto. Por árbol se colectaron 10 frutos en T1, T2 y T3 para la evaluación de las variables morfológicas y organolépticas. Las medias de cada variable por árbol se organizaron por tratamientos, severidad y bloque para un ANVA y comparación de medias con Tukey ($p=0.05$). Los análisis se realizaron con SAS V9.0.

Las variables morfológicas consistieron en peso (g) por fruto, medido con una balanza analítica; diámetro ecuatorial (DE); diámetro polar (DP) y grosor de cáscara (GC) (mm), estimados mediante un vernier digital

marca Truper®; volumen de jugo (VJ) (mL) calculado con 10 frutos por tratamiento. Las variables organolépticas se midieron con el jugo extraído de frutos, determinándose la concentración de grados Brix utilizando un refractómetro digital marca Palette®, calibrado previamente con agua destilada estéril. Se determinó el pH utilizando un potenciómetro marca HACH ®, previamente calibrado con los buffers de calibración. Se consideró la acidez titulable calculada con una solución indicadora fenolftaleína, la cual vira de incoloro a rosa al adicionar NaOH y se haya alcanzado la basicidad requerida (pH = 8.3) (Bassanezi et al., 2009, Flores et al., 2015).

Los datos fueron analizados mediante un ANVA y una prueba de comparación de medias (Tukey, $P < 0.05$). Los análisis se realizaron con el software SPSS de IBM.

Resultados y discusión

Se confirmó el impacto de CLas en la producción de las dos variedades de naranja dulce en la zona norte de Veracruz. Los frutos provenientes de ramas con síntomas de HLB mostraron una reducción en peso del 54,63 % (Cuadro 1), en comparación con frutos de árboles sanos. Lo que representa pérdidas en producción equivalentes a 5 532 992.54 toneladas por año productivo en naranja dulce. Estos resultados presentaron contraste significativo en comparación con el estudio de "El impacto productivo de *Candidatus Liberibacter asiaticus* en limón Persa", donde se estimaron pérdidas del 15,8 % en un huerto de la región de Martínez de la Torre (Saavedra et al. 2021). Dichos investigadores concluyeron que el impacto productivo se reflejó en peso, diámetro ecuatorial y polar, grosor de cáscara y grados Brix, mientras que en naranja dulce el mayor impacto se concentró en peso y volumen de jugo, lo que verificó la reducción de tamaño en frutos infectados con HLB, lo cual ha sido reportado también para lima persa y lima mexicana (Flores et al., 2015; Robles et al., 2017).

Adicionalmente, las variables diámetro ecuatorial, diámetro polar y grados Brix mostraron pérdidas alrededor del 25 %. Los resultados estimados concuerdan con los ya publicados referentes a naranja dulce, donde los árboles infectados producen frutos pequeños y deformes. El jugo de naranja Valencia incrementa su acidez en 45 % y 17,83 % en naranja Westin, con reducción de grados Brix del 17 % para ambas variedades (Bassanezi et al., 2009).

Al comparar los datos obtenidos en Valencia y Marrs, no se observaron diferencias significativas, debido a que la enfermedad es endémica, lo que indica largos periodos de exposición al vector infectivo desde su primera aparición en 2014, lo que se traduce en tasas de infecciones similares en ambas variedades.

Hung (2006) señala pérdidas en naranja dulce, clasificándolas según el manejo integral de huertas de Taiwán; señala que, en un periodo de 5 años, en los huertos sin aspersiones contra vectores se alcanzó una tasa de infección del 57 %, mientras que en huertas con aspersiones y erradicación la tasa fue del 17 %. En Brasil, las pérdidas en naranja Valencia se estimaron entre 41 y 100 % (Bassanezi et al., 2009).

La evolución de la enfermedad, así como la severidad, son relativas al fruto, edad y número de infecciones por árbol (Bassanezi, 2010). Se encontró que la CLas tiene preferencia por los cítricos dulces, ocasionando una fuerte disminución en volumen de jugo y, por ende, disminución en tamaño. Los frutos presentaron disminución en concentración de sólidos solubles, teniendo sabor amargo-desagradable.

Cuadro 1. P*orcentaje de reducción de las variables morfológicas y organolépticas de frutos de naranja dulce con HLB, en la zona norte de Veracruz, en el ciclo 2021-2022.*

	Muestreo	**Peso (gr)**	**DE (mm)**	**DP (mm)**	**GC (mm)**	**VJ (ml)**	**Brix**	**pH**
1	Nov 2021 Tihuatlán Naranja Valencia	56,53 %	22,36 %	22,81 %	No hay diferencia	65,80 %	22,79 %	2,16 %
2	Dic 2022 La concepción Naranja March	48,19 %	23,54 %	21,3 %	4.5 %	44,18 %	21,86 %	70,35 %
3	Dic 2022 Naranja March Tihuatlán	59,18 %	27,11 %	24,6 %	8.7 %	64,35 %	27,41 %	No hay diferencia
	Promedio	54,63 %	24,33 %	22,90 %	4.4 %	58,11 %	24,02 %	24,01 %

Conclusiones

En los muestreos efectuados en las huertas experimentales de Tihuatlán de naranja Valencia y March, ubicadas al norte de Veracruz, México, se encontró que no existen diferencias en las pérdidas entre ambas variedades. Sin embargo, se identificaron pérdidas significativas en los frutos que fueron infectados por CLas. Las pérdidas se centraron en la reducción de volumen de jugo, peso, grados Brix y pH, lo cual tiene un gran impacto socioeconómico para la citricultura regional y nacional, afectando también a las industrias exportadoras de dicho producto. Se requiere continuar con estudios de manejo de la enfermedad que coadyuven a salvaguardar esta relevante actividad económica.

Referencias

Bassanezi R. B., Montesino, L. H. y Stuchi, E. S. (2009). *Effects of Huanglongbing on Fruit Quality of Sweet Orange Cultivars in Brazil.* European Journal of Plant Pathology 25, 565-572.

Cristobal A. J., Mora, A. G., Manzanilla, L. R. H., Marbán, M. N., Sánchez, G. P., Cid del Prado, V. I. y Evans, K. (2006). *Epidemiology and integrated control of Nacobbus aberrans on tomato in Mexico.* Nematology 8, 727-737.

Flores- Sánchez, J.L., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk., Domínguez-Monge, S., Acevedo-Sánchez,. G., López-Arroyo, J I. y Robles-García, P (2015). *Perdidas en producción inducidas por Candidatus Liberibacter Asiaticus en Limón Persa en Yucatán México.* Revista mexicana de fitopatología 33, 195-2010.

Gottwald, T. R., da Graca J.V., y Bassanezi, R. B. (2007). *Citrus Hunglongbing: The pathogen and its impact.* Online. Plant healt progress doi:10.1094/PHP-2007-0906-01-RV

Gottwald. T.R (2010). *Current Epidemiological Understanding of citrus Huanglongbing.* Anual Review of phatology 48,119-139.

Hung, S. C. (2006). *Ecology and Vectorship of Citrus Psyllid in Relation to the Prevalence of Citrus Huanglongbing.* PhD. Thesis, NTU, 164.

Robles, G., Orozco, S., Manzanilla, R., Velázquez, M. y Carrillo, M. (2017). *Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en Colima, México* Revista Mexicana en Ciencias Agrícolas 8(5). 1101-1111.

Saavedra, O. (2022). *Impacto productivo de Candidatus Liberibacter asiaticus en limón persa cultivado en altas densidades en el Estado de Veracruz*. 34.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2025). https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/tramites-y-servicios-sagarpa

SENASICA. (2019). S*ervicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria. ficha técnica huanglongbing 'Candidatus Liberibacter spp.' Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria dirección general de sanidad vegetal.* 5-9 pp.

SIAP (2025). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.* https://nube.agricultura.gob.mx/agroprograma/

Capítulo **58**

Rendimiento y calidad de siete híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en el Valle de Mexicali, Baja California. P-V. 2024

Camarillo Pulido Mario[1*]
Ávila Casillas Eva[1]
Rene Gómez Mercado[1]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Mexicali. *camarillo.mario@inifap.gob.mx.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar siete híbridos de maíz por rendimiento y calidad. El estudio se estableció durante el ciclo agrícola P-V 2024 en el lote n.º 44 del Ejido Mérida del Valle de Mexicali, Baja California. Las parcelas experimentales fueron de cuatro surcos por 6 m de longitud y 0.8128 m de ancho a una hilera, con ocho semillas por metro de surco. Se consideró como parcela útil (8.128 m^2) con cuatro repeticiones por cultivar. Los cultivares evaluados fueron: P3230W, P3270W, NB 930, NB 950 y NB 970, P1445 y 32T83, y se aplicó la cepa Aspergillus flavus AF36 Prevail en el suelo con el propósito de minimizar el problema de aflatoxinas en el grano de maíz. Las variables analizadas fueron rendimiento de grano y contenido de aflatoxinas en el grano. Los resultados se analizaron estadísticamente bajo un diseño de bloques al azar y con el paquete estadístico Nuevo León, utilizando un nivel de significancia del 5 %. Para rendimiento de grano, el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre cultivares. El híbrido de maíz con mayor rendimiento de grano fue P1445 con 16 679 kg ha^{-1}. Con la aplicación de AF36 Prevail al suelo, los niveles de aflatoxinas en grano fueron muy bajos para los siete híbridos evaluados.

Introducción

En el valle de Mexicali, Baja California, derivado de problemas de rentabilidad en algunos cultivos, productores, comercializadores y el sector gubernamental han implementado en esta región algunos programas de reconversión de cultivos, con la idea de diversificar las especies cultivables como el maíz y mitigar presiones de comercialización en otros como trigo, algodón y alfalfa. En los últimos años, la superficie de siembra de maíz se ha incrementado a nivel regional, ya que de 567 hectáreas que se establecieron en 2016, se incrementaron a 1354 hectáreas en 2019 y, para 2024,

la superficie en el ciclo de primavera fue de 2248 hectáreas. Lo anterior resalta el interés de los productores por este cultivo y también se requiere del desarrollo de investigaciones para fortalecer la información técnica del mismo (SADER, 2016, 2019, 2024). Desde hace varios años, en esta región se han tenido problemas con la calidad sanitaria del maíz, ya que se ha reportado contaminación del grano por aflatoxinas (Valenzuela et al., 2002). En este tema, Camarillo (2022) evaluó la cantidad de estas micotoxinas en granos de maíz de diferentes híbridos establecidos en el valle de Mexicali, Baja California, en el que se reportaron valores de 18.70 partes por billón (ppb) con el cultivar P3270W y 215.9 ppb con el híbrido P1445: maíces blanco y amarillo, respectivamente.

Por otro lado, se han desarrollado soluciones de biocontrol como la AF36 Prevail, que utiliza una cepa de Aspergillus flavus que no produce aflatoxinas y suprime las cepas que sí las producen, reduciendo así la contaminación por estas toxinas producidas por el hongo en diferentes cultivos. La aplicación de AF36 Prevail se realiza sobre el suelo, lo que permite al hongo crecer, moverse al cultivo, competir con los hongos productores de aflatoxinas y reducir su presencia en el producto final. En Estados Unidos, la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA) ha establecido límites máximos de aflatoxinas en los granos en 20 ppb (partes por mil millones, que es la unidad que mide la concentración de una sustancia) para consumo humano (Bueso, 1998, como se citó en Abastida, 1999).

En México, en el estado de Tamaulipas, se ha detectado en maíz la presencia de aflatoxinas con una frecuencia cada vez mayor y en mayores proporciones. Para minimizar este problema, se han evaluado tecnologías que puedan mitigar o reducir las afectaciones por aflatoxinas, al combinar estas tecnologías de buen manejo agronómico y la utilización de control biológico mediante el uso de AF36 Prevail. Con la combinación de estas tecnologías, Palacios (2022) reportó que en el ciclo otoño-invierno 2021 solo el 10 % de grano cosechado en parcelas tratadas con la cepa presentó niveles de aflatoxinas mayores a 20 ppb; mientras que, en las parcelas donde no se aplicaron estas tecnologías, más del 90 % del grano salió contaminado.

Por estas razones, y debido al crecimiento en superficie de siembra de maíz en el Valle de Mexicali, el Campo Experimental Valle de Mexicali-INIFAP, con apoyo económico de GRUMA, estableció parcelas experimentales

para evaluar el rendimiento y calidad de siete híbridos de maíz (*Zea mays* L.) con el objetivo de evaluar el rendimiento y analizar el contenido de aflatoxinas en el grano de siete híbridos de maíz utilizando AF36 Prevail.

Materiales y métodos

Establecimiento y manejo del cultivo

En el lote n.º 4 del Ejido Mérida del Valle de Mexicali, Baja California, se establecieron siete cultivares de maíz, cinco blancos: P3270W, P3230W, NB 930, NB 950, NB970 y dos amarillos: P1445 y 32T83. La siembra fue realizada de forma manual y en "húmedo" el 22 de febrero de 2024. La parcela experimental fue de cuatro surcos de seis metros de largo por 0.8128 m de ancho, a una hilera, con ocho semillas por metro de surco. Se aplicaron ocho riegos en total, siete de auxilio y uno de presiembra; se fertilizó con la fórmula 406-104-00 de acuerdo con Camarillo y Ávila (2023). Se cultivó y se levantó surco en dos ocasiones. Las variables consideradas fueron: contenido de aflatoxinas en el grano y rendimiento de grano. El diseño experimental utilizado fue por bloques al azar con cuatro repeticiones; la parcela experimental fue de cuatro surcos de 0.8128 metros de ancho por seis metros de largo (19.50 m^2), en tanto que la parcela útil se formó con los dos surcos centrales de 0.8128 metros de ancho por cinco metros de largo, lo que dio una superficie cosechada de 8.128 m^2. Solo se realizó análisis estadístico con la variable rendimiento de grano. Se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey, utilizando un nivel de significancia del 5 %, usando el Paquete Estadístico de la Universidad de Nuevo León, Versión 1.6.

Aflatoxinas en grano. Se aplicó la cepa AF36 Prevail en el suelo, en una dosis de 12 kg ha^{-1} antes del cierre del cultivo (57 días después de la siembra), con el propósito de minimizar el problema de aflatoxinas en el grano de maíz. Para conocer el contenido de aflatoxinas en grano, se envió al laboratorio Gruma un kilogramo de muestra de la cosecha obtenida de cada híbrido evaluado. El análisis se realizó utilizando el kit Afla-V AQUA Grain (Vicam, EE. UU., número de catálogo 176003520), utilizando 5 g de cada una de las muestras enviadas.

Resultados y discusión

Rendimiento de grano

El análisis estadístico con los rendimientos de grano indicó diferencias significativas para tratamientos, por lo cual se realizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza y esta indicó la formación de varios grupos. En el primero, como superior y como diferente al resto, se ubicó el cultivar P1445 con 16679 kg ha-1 de grano; le siguió 32T83 con 14335.5 kg ha^{-1}. El menor rendimiento fue de 11604 kg ha^{-1} de grano con el híbrido NB 970 (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Rendimiento de grano y clasificación estadística de siete híbridos de maíz en el valle de Mexicali, Baja California. INIFAP-CIRNO-CEMEXI 2024.*

Híbridos	**Rendimiento (kg ha^{-1}) al 14 % humedad**	**Clasif. Estadística 0,05 %**
P1445	16 679.0	a
32T83	14 335.5	b
P3230W	13 790.5	bc
NB950	12 906.0	bcd
P3270W	12 772.7	bcd
NB930	11 766.2	cd
NB970	11 604.0	d

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Aflatoxinas en grano

Con la aplicación de AF36 Prevail al suelo, los niveles de aflatoxinas en grano fueron muy bajos para los siete híbridos evaluados. El menor valor fue de 0.00 ppb de aflatoxinas en el grano con el híbrido P1445 y el mayor fue de 0.65 ppb de aflatoxinas en el grano con el cultivar P3270W; lo anterior coincide con lo reportado por Palacios (2021). De acuerdo con la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA), donde ha establecido límites máximos de aflatoxinas en los granos (20 ppb para consumo hu-

mano), estos híbridos evaluados estarían cumpliendo con lo establecido en la norma (Cuadro 2).

Por otro lado, Camarillo (2022) reportó en granos de maíz valores de 18.70 partes por billón (ppb) con el cultivar P3270W y 215.9 ppb con el híbrido P1445; maíces blanco y amarillo, respectivamente, sin la aplicación de la AF36 Prevail, lo que podría considerarse una reducción significativa en la cantidad de inóculo. Es importante señalar que, debido a la ausencia de testigo experimental en el análisis de aflatoxinas en grano, se recomienda realizar estudios futuros con diseños experimentales que incluyan repeticiones con su respectivo testigo, con el fin de validar estas observaciones y establecer diferencias significativas entre las variedades e incluir análisis de suelo.

Cuadro 2. *Contenido de aflatoxinas en grano de siete híbridos de maíz. Valle de Mexicali, Baja California. INIFAP-CIRNO-CEMEXI 2024.*

Híbridos	Aflatoxinas en grano (ppb)	Apto para consumo (-20 ppb)
P1445	0	SI
32T83	0.15	SI
P3230W	0.21	SI
NB950	0.35	SI
P3270W	0.65	SI
NB930	0.21	SI
NB970	0.59	SI

Conclusiones

El híbrido de maíz con mayor rendimiento de grano fue P1445 con 16,679 kg ha^{-1} al 14 % de humedad y el menor rendimiento fue de 11 604 kg ha^{-1} de grano con el híbrido NB 970. Con la aplicación de AF36 Prevail al suelo, los niveles de aflatoxinas en grano fueron muy bajos para los siete híbridos evaluados. El uso de AF36 prevail es una opción para reducir la contaminación por aflatoxinas en los granos de maíz.

Referencias

Abastida, U. J. A. (1999). *Evaluación de la incidencia de aflatoxinas en dos variedades de maíz (Zea mays) en Zamorano.* ZAMORANO Departamento de Agronomía.

Camarillo, P. M. (2022). *Evaluación de 16 cultivares de maíz (10 blancos y 6 amarillos) en el Valle de Mexicali, Baja California.* [Reporte técnico en el archivo del CEMEXI]. SAGARPA-INIFAP-CIRNO-CEMEXI.

Camarillo, P. M., Avila, C. E. (2023). *Maíz blanco de primavera en los valles de Mexicali, B. C. y San Luis, Río Colorado, Son*. Desplegable para productores Núm. 100. SADER-INIFAP-CIRNO-CEMEXI

Palacios, R. N. (2022). *Combinan tecnologías para combatir aflatoxinas*. https://www.cimmyt.org/es/noticias/combinan-tecnologias-para-combatir-aflatoxinas/

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Representación en Baja California Distrito de Desarrollo Rural 002, Rio Colorado. (2016). *Estadistica DDR002*

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Representación en Baja California Distrito de Desarrollo Rural 002, Rio Colorado. (2019). *Estadistica DDR002*

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Representación en Baja California Distrito de Desarrollo Rural 002, Rio Colorado. (2024). *Estadistica DDR002*

Valenzuela, P. J. A. García, M. L., López, L. F., Guzmán, R. S. D., (2002). *Guía para producir maíz para grano en el valle de Mexicali, B. C. y San Luis, Río Colorado, Son.* Folleto para productores núm. 36. SAGARPA-INIFAP-CIRNO-CEMEXI

Capítulo **59**

Validación de cuatro variedades de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), De tipo oleico en el Valle de Mexicali, Baja California, México

Eva Ávila Casillas[1*]
Mario Camarillo Pulido[1]
Rene Gómez Mercado[1]
Nestor Aguilera Molina[2]
Xochilt M. Ochoa Espinoza[2]
Elco Humberto García Bolivar [2]
Carlos Cota Barreras[3]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Mexicali. *avila.eva@inifap.go.mx.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Norman E. Borlaug.
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Todos Santos.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo validar el rendimiento de grano de cuatro variedades de cártamo de tipo oleico. La validación se estableció durante el ciclo agrícola 2023-2024 en el lote n.º 47 de la Col. Chapultepec del Valle de Mexicali, Baja California. Las parcelas se establecieron en 20 surcos de 248 m de longitud separados a 0.75 m, sembrados a hilera sencilla (3 720 m^2), con una densidad de siembra de 10 kg ha^{-1}. El cálculo del rendimiento se realizó inmediatamente después de la cosecha, mediante el pesado de la producción de cada una de las cuatro variedades. Los cultivares evaluados fueron: CHEY-OL, AS-3427, CW-3268 y HUATSON-OL. La variedad con mayor rendimiento de grano fue CHEY-OL con un promedio de 4916 kg ha^{-1}, seguido de AS-3427 con 4218 kg ha^{-1}. Debido a la ausencia de repeticiones experimentales, los valores presentados deben considerarse únicamente como tendencias descriptivas, sin inferencia estadística. Se recomienda realizar estudios futuros con diseños experimentales que incluyan repeticiones, con el fin de validar estas observaciones y establecer diferencias significativas entre las variedades.

Introducción

El cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), en forma comercial en México, inicia a finales de los años cincuenta, en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, y posteriormente se extiende al centro y sur de Tamaulipas. En el transcurso de los años setenta, el cártamo fue producido en grandes cantidades, con lo cual contribuyó en gran medida al abastecimiento del mercado interno de aceites comestibles. En 1979, la producción de este cultivo oleaginoso alcanzó su mayor nivel con un poco más de 634 mil toneladas, siendo a partir del año siguiente que se inicia una tendencia continua a la baja (Camarillo et al., 1983). La superficie total sembrada de cártamo en México para el ciclo agrícola 2023-2024 fue de 47 265.21 hectáreas, con un rendimiento

de 1.52 toneladas por hectárea, lo que resultó en una producción de 70 633 toneladas de cártamo. Los principales estados productores fueron Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Jalisco, Michoacán, Veracruz y Baja California Sur (SIAP, 2025). El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a lo largo del tiempo, ha trabajado para generar materiales que cubran las necesidades de los productores y, gracias a esta actividad, se han logrado liberar variedades con resistencia a distintas enfermedades de importancia mundial como la roya del cártamo (*Puccinia carthami*) y alternaria (*Alternaria carthami*) (Montoya y Ochoa, 2006). En el 2015 se liberó la variedad Chey-Ol de tipo oleica con la característica de su gran contenido de aceite (Ávila et al. 2017); es altamente estable en su producción a través de localidades del noroeste de México y cuenta con un alto porcentaje de aceite y de ácido oleico. Posteriormente, en el año 2022, el CIRNO-INIFAP liberó la variedad oleica Huatson Ol, la cual mostró alta tolerancia a falsa cenicilla (*Ramularia chartami, Sacc*) y tolerancia a roya de la hoja (*Puccinia carthami*) (Ochoa et al., 2024). Estos trabajos de investigación han sido factor importante para el crecimiento del área sembrada en México. Sin embargo, es necesario continuar con la generación, validación y transferencia de tecnología, debido a que las variedades liberadas, con el tiempo, pierden resistencia ante nuevos patógenos. Con base en los antecedentes mencionados, se planteó el presente trabajo con el objetivo de validar el rendimiento de grano de cuatro variedades de cártamo de tipo oleico bajo condiciones de campo en el Valle de Mexicali.

Materiales y métodos

Establecimiento y manejo del cultivo

La validación se realizó durante el ciclo agrícola 2023-2024, en el Campo Experimental del Valle de Mexicali, Baja California. Esta acción se realizó en el lote agrícola n.º 47 de la colonia Chapultepec, del valle de Mexicali, Baja California. Por ser un trabajo a nivel de validación, se indican las actividades de preparación del terreno y siembra mecanizada, las cuales consistieron en rastreo, nivelación con escrepa, surcado y bordeo. Posteriormente, el 11 de diciembre del 2023 se realizaron las siembras de las

variedades oleicas: CHEY-OL, AS-3427, CW-3268 y HUATSON OL. Las parcelas se establecieron en 20 surcos de 248 m de longitud separados a 0.75 m, sembrados a hilera sencilla (3720 m^2), con una densidad de siembra de 10 kg ha^{-1}. Las cuatro variedades fueron sembradas en suelo "seco", a hilera sencilla y de forma mecanizada; para ello, se utilizó un tractor John Deere modelo 6403 y una sembradora conocida como "Planet Jr.". El riego de germinación o nacencia se realizó el 23 de diciembre de 2023. Se aplicaron en total cuatro riegos de auxilio los días 17 de febrero, 18 de marzo, 10 de abril y 1 de mayo del 2024. En lo que se refiere a fertilización, se utilizó la fórmula 161-00-00 dividida en dos aplicaciones; se realizaron dos cultivos mecánicos y tres limpias manuales para el control de malezas.

Las variables agronómicas consideradas fueron: días a inicio de floración, días a floración, color de flor, altura de planta y rendimiento de grano (kg ha^{-1}). Para el análisis de datos se realizó un análisis comparativo entre las variables evaluadas en Excel.

Estimación de rendimiento:

La cosecha se realizó de forma mecánica el día 9 de julio con una trilladora convencional. El cálculo del rendimiento se realizó inmediatamente después de la cosecha, mediante el uso de una báscula camionera Torrey donde se realizó el pesado de la producción de cada variedad. El rendimiento se calculó del peso total de grano (kg) del área cosechada (3722.4 m^2) y se realizó la conversión a kg ha^{-1}.

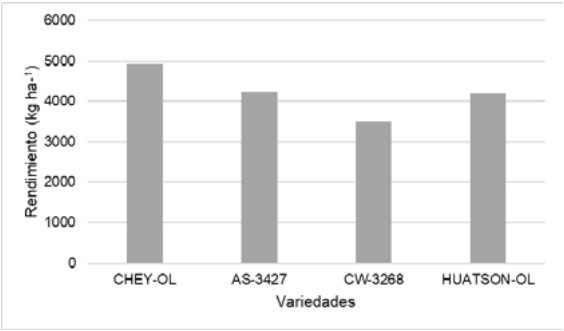
Resultados y discusión

En el Cuadro 1 y Figura 1, se muestra el análisis comparativo de rendimiento de las cuatro variedades de cártamo evaluadas. La variedad CHEY-OL presentó el mayor rendimiento con (4916 kg ha^{-1}), seguida por AS-3427 (4218 kg ha^{-1}) y HUATSON-OL (4191 kg ha^{-1}). La variedad con menor rendimiento fue CW-3268, con (3492 kg ha^{-1}), lo que representa una reducción del 29 % respecto a la mejor variedad. El orden de rendimiento fue: CHEY-OL > AS-3427 > HUATSON-OL > CW-3268.

Cuadro 1. *Rendimiento de grano de cuatro variedades de cártamo oleicas en el valle de Mexicali, Baja California. 2023-2024.*

Variedad	Rendimiento (kg ha^{-1})	Diferencia con la mejor (%)
CHEY-OL	4916	0 %
AS-3427	4218	-14 %
HUATSON-OL	4191	-15 %
CW-3268	3492	-29 %

Figura 1. *Rendimiento de grano de cuatro variedades de cártamo olicas en el valle de Mexicali, B.C. 2023-2024.*



Estos resultados indican que la variedad CHEY-OL posee un mayor potencial genético de producción de grano y posiblemente una mejor adaptación a las condiciones edafoclimáticas del sitio experimental. Por el contrario, el bajo rendimiento de CW-3268 podría deberse a una menor adaptación ambiental, diferencias en el ciclo de madurez o en la eficiencia de aprovechamiento de recursos como agua y nutrientes. Las variedades AS-3427 y HUATSON-OL mostraron rendimientos intermedios, lo que indica que pueden ser alternativas viables, aunque con menor desempeño que CHEY-OL.

En el Cuadro 2, se presentan los datos agronómicos de los cultivares de cártamo evaluados. Como se puede observar en la variable de días de floración, los cultivares llegaron a los 134 días; el cultivar CHEY-OL y CW-3268 fueron más precoces, comparado con HUATSON-OL y AS-3427 con 137 y 138 días, respectivamente. El color de flor fue de A/N (amarillo naranja) para CHEY-OL y CW-3268 y A/A para HUATSON-OL y AS-3427. En altura de planta se encontró que el cultivar AS-3427 de 171 cm fue más alto que las demás variedades.

Cuadro 2. *Características agronómicas de 4 cultivares de cártamo en el valle de Mexicali, Baja California. ciclo 2023-2024.*

Variedad	Días a floración	Color de flor	Altura (cm)
CHEY-OL	134	A/N	169
AS-3427	138	A/A	171
HUATSON-OL	137	A/A	166
CW-3268	134	A/N	162

Es importante señalar que, debido a la ausencia de repeticiones experimentales, los valores presentados deben considerarse únicamente como tendencias descriptivas, sin inferencia estadística. Se recomienda realizar estudios futuros con diseños experimentales que incluyan repeticiones, con el fin de validar estas observaciones y establecer diferencias significativas entre las variedades.

Conclusiones

La variedad que presentó el mayor rendimiento de grano fue CHEY-OL con 4916 kg ha^{-1}. Los rendimientos de grano obtenidos en este estudio superan el rendimiento promedio del Valle de Mexicali.

Referencias

Ávila, CE; Ochoa, EXM: Montoya, CL; Aguilera, MNA; Borbón, GA y Alvarado, PJI. (2017). *Chey-ol: nueva variedad de cártamo oleica para el noroeste de México*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(5), 1209-1212.

Camarillo, PM; Machain, LM y Guzmán, RSDC. (1983). Guía para producir cártamo en el Valle de Mexicali. Folleto para productores núm. 6. 16p.

Montoya, C. L. y Ochoa, F. B. (2006). *Guía para producir cártamo en el sur de Sonora.* INIFAP-CIRNO-CESS, Cd. Obregón Sonora. Folleto para productores 37. 24.

Siap (2025). Estadística de Producción Agrícola 2025.

Ochoa, E. X. M, Aguilera, M. N. A, Montoya, C. L, García, B. E. H, Cota, B. C. I, Ávila C. E, Borbón, G. A. y Marroquín, M. J. A. (2024). *Huatson ol, nueva variedad de cártamo del tipo oleico*. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 47(4), 421-423, 2024.

Capítulo **60**

Desempeño de umbrales en la segmentación de imágenes escaneadas de granos de trigo

Salcido Santillán Rosario Angelica[1]
Sauceda Acosta Carlos Patricio[1*]
Borbón Gracia Alberto[1]
García León Elizabeth[2]
Fuentes Verduzco Cipriano[1]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS.* saucedap@uas.edu.mx
[2] Campo Experimental Valle del Fuerte-INIFAP.

Resumen

Los atributos físicos del grano de trigo permiten evaluar calidad e identificar variedades, por lo que se incluyen en programas de mejoramiento. Su obtención resulta compleja y poco precisa al realizarse de forma manual o visual. El análisis de imágenes digitales (AID) permite cuantificación objetiva, pero se requieren métodos automatizados, precisos y accesibles que aseguren una segmentación correcta y medición consistente. En el presente estudio se evaluó el desempeño de tres umbrales automatizados: arduo, automático y predeterminado para la segmentación de imágenes escaneadas de granos de trigo de la variedad Cirno C2008, con el objetivo de identificar umbrales apropiados para un análisis confiable. Las imágenes se obtuvieron con escáner de cama plana; el AID se realizó con MacGran-IJ, con umbrales calculados automáticamente sin intervención del usuario. Se midió área, largo, ancho, perímetro, circularidad, aspecto y atributos de color (CIELab y brillo). Los tres umbrales identificaron entre 632 y 634 granos por imagen, con exactitud desde 98,65 hasta 99,35 % (DHS = 0.39, $p \leq 0.05$). El umbral Arduo mostró mayor circularidad y luminosidad, mientras el Automático y Predeterminado presentaron valores intermedios en dimensiones y color ($p \leq 0.05$). El tiempo del análisis por imagen varió entre 4.24 y 4.31 segundos. La variación en mediciones fue consistente dentro de cada umbral. Los métodos Arduo, Automático y Predeterminado presentan eficiencia para segmentar imágenes escaneadas de granos de trigo y generan mediciones consistentes de sus dimensiones, forma y color.

Introducción

Las características físicas de los granos determinan su calidad. El tamaño y la forma del grano de trigo se relacionan con el rendimiento y la calidad de la harina, mientras que el color se asocia con el valor nutricional y la germinación antes de la cosecha (Arif et al., 2022). Los atributos físicos

del grano son fundamentales para su clasificación y tienen gran importancia en los programas de mejoramiento de este cereal. El tamaño del grano se relaciona con su peso, mientras que la forma se determina con la relación entre longitud y anchura, mediciones que suelen realizarse de manera manual con vernier (Zhu et al., 2021). Por su parte, el color del grano se estima de manera visual con apoyo en escalas de referencia y se cuantifica con colorímetros (Hakeem et al., 2025).

La medición manual de las dimensiones del grano y las estimaciones visuales presentan baja capacidad para generar información diversa y de calidad, requieren mano de obra y resultan tediosas (Liang et al., 2024) y la restricción en el tamaño de muestra manejable. La estimación visual de la forma y el color permite realizarse rápidamente, pero la subjetividad, la fatiga y otros factores humanos introducen variaciones, lo que convierte esta tarea en laboriosa y exige personal calificado (Fazel-Niari et al., 2022). La cuantificación del color con instrumentación especializada es costosa; sin embargo, las mediciones de los colorímetros se asocian con la reflectancia obtenida mediante el análisis de imágenes digitales (Whan et al., 2014).

La clasificación adecuada del grano es fundamental para garantizar su calidad e identificar variedades. Sin embargo, este proceso resulta complejo y poco fiable cuando se realiza de forma visual o manual, debido a su naturaleza tediosa y subjetiva. Además, su lentitud limita la evaluación a gran escala y la toma rápida de decisiones (Sharma et al., 2021). Para superar estas limitaciones, se requiere la implementación de fenotipaje de alto rendimiento (HTP, por sus siglas en inglés), el cual incluye el uso de imágenes digitales. Así, la cuantificación del tamaño, la forma y el color del grano de trigo puede realizarse de manera rápida, precisa y sencilla mediante el análisis de imágenes digitales, obtenidas con cámaras RGB eficientes, económicas y ampliamente disponibles (Haghshenas et al., 2022); o bien, la digitalización puede ser con escáner de cama plana, considerado como una alternativa de bajo costo.

La digitalización con escáner, al proporcionar dimensiones conocidas y un fácil control de la iluminación, favorece un análisis automatizado y sencillo, lo que a su vez facilita la umbralización para una segmentación efectiva. No obstante, es necesario identificar umbrales más robustos y precisos que permitan cuantificar de forma automática los atributos físicos y lograr

un fenotipaje accesible y confiable. Por lo anterior, en este estudio se evaluó la efectividad y eficiencia de tres umbrales para la segmentación de imágenes escaneadas de granos de trigo.

Materiales y métodos

El grano de trigo utilizado fue de la variedad Cirno C2008, con el uso de 10 muestras de 28.0 g conformadas por granos limpios y heterogéneos; el peso de las muestras se registró con una balanza digital de precisión (Ohaus SC2020 Scout® II). La digitalización se realizó con escáner de cama plana (Canon® LiDE 300); la distribución de los granos sobre el cristal fue aleatoria, es decir, no se invirtió tiempo en separarlos; sin embargo, se evitó que tocaran los bordes y se utilizó un fondo negro para mejorar el contraste. El almacenamiento de las imágenes fue en formato JPG, a color (24 bits por píxel) y con resolución de 300 ppp (píxeles por pulgada).

La morfología del grano se obtuvo mediante AID con el programa MacGran-IJ. La segmentación de las imágenes se realizó por umbralización con tres métodos automatizados para determinar el umbral, sin requerir intervención del usuario ni experiencia previa en AID: Predeterminado, que emplea la desviación estándar de la intensidad; Automático, definido a partir de la intensidad media; y Arduo, basado en el canal de saturación y el algoritmo IsoData. Con cada método se midió el área proyectada o tamaño (mm^2), largo (mm), ancho (mm) y perímetro (mm), circularidad (0 = polígono alargado, 1 = círculo perfecto), aspecto (largo entre ancho) y el color del grano en el espacio CIELab (por sus siglas en inglés L = luminosidad, a = eje verde-rojo, b = eje azul-amarillo) y el espacio RGB (Red = rojo, Green = verde, Blue = azul) para calcular el brillo de la testa (%) = 100 x (rojo x 0.299 + verde x 0.587 + azul x 0.114) / 255.

El análisis de los datos se realizó con el programa SAS en línea (SAS® OnDemand For Academics). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para comprobar la normalidad, y la prueba de Levene se aplicó para verificar la homogeneidad de varianzas. La comparación de las dimensiones del grano entre los umbrales de segmentación fue con ANDEVA y la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey se empleó solo cuando hubo diferencias. La prueba de Kruskal–Wallis se implementó para comparar el color y el tiempo requerido en el análisis para cada umbral, mientras que la

comparación múltiple de rangos DSCF (Dwass-Steel-Critchlow-Fligner) solo al detectarse algunas diferencias ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El número de granos fue similar entre los umbrales, lo cual refleja una identificación efectiva; no obstante, el umbral Automático presentó un mayor número de granos unidos del 98,65 % de exactitud; en cambio, en el Predeterminado y el Arduo fue superior al 99,35 % (DHS = 0.39, $p \leq 0.05$). La correcta identificación de los granos depende de una segmentación adecuada de la imagen, como señalan Liang et al. (2022), quienes reportaron 95,26 % y 99,77 % de exactitud en el registro de granos de trigo con dos métodos de segmentación e indican que la exactitud es afectada por el grado de contacto entre estos, pero además depende de la sanidad.

El umbral Arduo identificó granos con menor área proyectada, longitud, anchura y perímetro, pero mayor circularidad (Cuadro 1). Esto se atribuye a que dicho umbral separa, de manera completa o incluso excesiva, los granos del fondo de la imagen, situación señalada también por Fazel-Niari et al. (2022), quienes indican la relación del umbral con todos los cálculos morfológicos y, por ende, con las clasificaciones realizadas. La obtención automatizada de los umbrales reduce la subjetividad y el riesgo de errores humanos; además, si existe sobre o subestimación de las dimensiones, será sistemática, lo cual asegura resultados consistentes.

Cuadro 1. *Número de granos, dimensiones, circularidad y aspecto del grano de trigo variedad Cirno C2008 en tres umbrales automatizados de segmentación.*

Umbral	Granos		Tamaño (mm^2)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Perímetro (mm)	Circularidad (0-1)	Aspecto
	Total	Unidos						
Arduo	634	3.0 a	17.38 a	6.67 a	3.42 a	16.88 a	0.756 b	1.98 c
Predeterminado	633	4.1 a	18.57 b	6.86 b	3.56 b	17.57 b	0.746 a	1.95 b
Automático	632	8.6 b	19.22 c	6.93 c	3.66 c	17.66 b	0.762 c	1.92 a
Media	633	5.23	18.39	6.82	3.55	17.37	0.755	1.95
CV	3.64	43.09	1.31	0.72	0.70	0.67	0.244	0.47
D H S (Tukey=0.05)	NS	2.50	0.27	0.054	0.03	0.13	0.002	0.01

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta; NS, No significativa.

El umbral Arduo mostró la mayor en luminosidad (L), en el eje verde-rojo (a), el azul-amarillo (b) y en brillo ($p \leq 0.05$). El eje b presentó valores desde 22.86 hasta 27.75 (Cuadro 2) y están por encima del promedio de 18.6 reportado por Hakeem et al. (2025), quienes indican mayor intensidad de los componentes del color CIELab en los granos más claros y menor en los más oscuros, lo cual depende del genotipo y es influenciado por el ambiente.

El AID ocupó entre 4.24 y 4.31 segundos, sin diferencias entre umbrales ($p > 0.05$). Su eficiencia fue menor que la reportada por Liang et al. (2022), de 1.54 segundos, para medir el área, perímetro, largo y ancho de mil granos. Según Liang et al. (2024), evaluar la apariencia del grano con AID tardó 720 segundos, mientras que de modo visual demandó 60 minutos. Las diferencias en la duración del AID dependen del equipo computacional, librerías utilizadas, nivel de automatización, complejidad del análisis, número de características y granos procesados, así como del tipo y resolución de imagen.

Cuadro 2. *Color y brillo del grano de trigo, variedad Cirno C2008, en tres umbrales automatizados de segmentación.*

Umbral	Luminosidad			a (verde-rojo)			b (azul-amarillo)			Brillo		
	Media	Rango		Media	Rango		Media	Rango		Media (%)	Rango	
Automático	48.19	5.5	a	27.79	5.5	a	22.86	5.5	a	13.07	5.5	a
Predeterminado	55.74	15.5	b	31.23	15.6	b	26.76	15.5	b	14.92	15.5	b
Arduo	58.71	25.5	c	31.85	25.4	c	27.75	25.5	c	15.46	25.5	c

Literales distintas por columna indican diferencia estadística según la comparación múltiple de rangos DSCF ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

Los métodos Arduo, Automático y Predeterminado para la identificación automatizada de umbrales presentan efectividad y eficiencia en la segmentación de imágenes escaneadas de granos de trigo. Los tres umbrales automáticos generan mediciones consistentes de las dimensiones, forma y color del grano de trigo.

Referencias

Arif, M. A. R., Komyshev, E. G., Genaev, M. A., Koval, V. S., Shmakov, N. A., Börner, A., y Afonnikov, D. A. (2022). *QTL analysis for bread wheat seed size, shape and color characteristics estimated by digital image processing*. *Plants*, 11(16). https://doi.org/10.3390/plants11162105

Fazel-Niari, Z., Afkari-Sayyah, A. H., Abbaspour-Gilandeh, Y., Herrera-Miranda, I., Hernández-Hernández, J. L., y Hernández-Hernández, M. (2022). *Quality assessment of components of wheat seed using different classifications models*. Applied Sciences, 12(9). https://doi.org/10.3390/app12094133

Haghshenas, A., Emam, Y., y Jafarizadeh, S. (2022). *Wheat grain width: A clue for re-exploring visual indicators of grain weight*. Plant Methods, 18(1), 58. https://doi.org/10.1186/s13007-022-00891-1

Hakeem, S., Ali, Z., Saddique, M. A. B., Habib-Ur-Rahman, M., y Wiehle, M. (2025). *Harnessing genetic diversity in wheat to enhance grain nutrition and yield for biofortification breeding*. Biological Research, 58(1). https://doi.org/10.1186/s40659-025-00606-5

Liang, J., Chen, J., Zhou, M., Li, H., Xu, Y., Xu, F., Yin, L., y Chai, X. (2024). *An intelligent detection system for wheat appearance quality*. Agronomy, 14(5). https://doi.org/10.3390/agronomy14051057

Liang, N., Sun, S., Yu, J., Taha, M. F., He, Y., y Qiu, Z. (2022). *Novel segmentation method and measurement system for various grains with complex touching*. Computers and electronics in agriculture, 202. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107351

Sharma, R., Kumar, M., y Alam, M. S. (2021). *Image processing techniques to estimate weight and morphological parameters for selected wheat refractions*. Scientific Reports, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-00081-4

Whan, A. P., Smith, A. B., Cavanagh, C. R., Ral, J. P. F., Shaw, L. M., Howitt, C. A., y Bischof, L. (2014). *GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements*. Plant methods, 10(1). https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/1746-4811-10-23

Capítulo **61**

Harina de mezquite (*Prosopis juliflora*) y suero lácteo para elaboración de una bebida funcional sustentable

Gómez Herrera J. Daniel[1*]
Méndez Trujillo Vianey[1]
Roque Jiménez J.Alejandro[2]
Sáenz Pardo Reyes Erika
Torres Maravilla Edgar
Cornejo Bravo J. Manuel[3]

[1] Facultad de Medicina y Nutrición de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. * gomez.jose25@uabc.edu.mx.
[2] Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.
[3] Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México.

Resumen

Desde la perspectiva de economía circular y reducción de huella hídrica y de carbono, la valorización del suero de leche y la harina de mezquite convierte un coproducto y un recurso subutilizado en ingredientes funcionales con el objetivo de caracterizar su composición proximal y propiedades funcionales como insumos para bebidas sustentables. El suero (subproducto quesero) presentó 3,24 % de proteína y 4,67 % de lactosa, sin grasa. La harina de mezquite mostró 11,5 % de proteína, 31,4 % de fibra, 45,9 % de carbohidratos y 265.72 mg EAG/100 g de polifenoles, con 60,85 % de inhibición DPPH. Los resultados respaldan su viabilidad nutricional y tecnológica para el desarrollo de alimentos sustentables.

Introducción

La seguridad alimentaria exige acceso continuo a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, sin rebasar los límites hídricos ni de carbono del planeta (Knez, 2023). En respuesta, la biotecnología alimentaria impulsa el aprovechamiento de recursos alternativos y subutilizados —insectos, desechos pesqueros y plantas silvestres— para diversificar la dieta y reducir el impacto de la producción convencional. México, con 23 314 especies nativas (Villaseñor, 2016), de las cuales 3551 se documentan en la península de Baja California (Rebman, 2016), presenta una oportunidad: cerca del 9 % tendría uso alimentario potencial (Caballero, 2023).

Entre estos recursos destaca *Prosopis juliflora* (mezquite), típica de zonas áridas como Baja California. Su harina aporta proteínas, fibra y polifenoles kaempferol y catequina con actividad antioxidante y posibles beneficios frente a diabetes, cáncer y procesos ligados al estrés oxidativo (De Lemos, 2023; Bohórquez, 2025). En paralelo, el suero de leche es un coproducto lácteo de alto valor por sus proteínas bioactivas, con evidencias de efectos favorables en metabolismo muscular y condiciones como diabetes, hiper-

tensión y estrés oxidativo (Prokodopis, 2025). No obstante, en México se generan 322 942 m³/año y hasta 50 % se vierte sin valorización, con impacto ambiental y pérdidas económicas (Chacón, 2017).

Con este contexto, resulta pertinente desarrollar alimentos funcionales que integren materias primas regionales y subutilizadas. Estudios recientes reportan buena estabilidad tecnológica y valor nutricional de la harina de mezquite, reforzando su viabilidad como ingrediente (Cavalcante, 2022). Por ello, esta investigación evalúa las propiedades nutricionales y funcionales de la harina de mezquite (*Prosopis juliflora*) y del suero lácteo para estimar su potencial como insumos en una bebida funcional sustentable, generando evidencia que impulse la innovación local y la economía circular.

Materiales y métodos

Obtención de la harina de mezquite

La harina de mezquite fue elaborada a partir de las vainas de la especie Prosopis juliflora, mediante una serie de procesos secuenciales. En primer lugar, las vainas fueron sanitizadas mediante inmersión y enjuague en una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm. Posteriormente, se trituraron en pequeños trozos y se llevaron al horno durante 14 h a una temperatura de 70 °C para su deshidratación. Finalmente, las vainas deshidratadas se molieron en un molino de cuchillas tipo Wiley y la harina obtenida se tamizó en tamiz analítico #80 (≈180 μm) hasta obtener un tamaño de partícula uniforme (Gusmao, 2016).

Obtención y determinación nutricional del suero de leche

El suero de leche se obtuvo como subproducto de la elaboración de queso fresco en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC. La composición fue analizada mediante técnica ultrasónica con el equipo Lactoscan® y determina sólidos no grasos, grasa, proteína, lactosa y azúcares totales, de acuerdo con la NOM-183-SCFI-2012.

Determinaciones nutricionales de la harina de mezquite

Las determinaciones nutricionales de la harina de mezquite se realizaron siguiendo los métodos oficiales de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists): humedad (AOAC 925.10, secado en estufa), cenizas (AOAC 923.03, incineración en mufla), grasa total (AOAC 920.39C, extracción Soxhlet), proteína (AOAC 920.87, método Kjeldahl, factor 6.27), fibra cruda (AOAC 978.10, tratamiento ácido-básico) y carbohidratos totales (AOAC, método por diferencia).

Determinación de polifenoles totales

De acuerdo con Rizvi (2023), el contenido total de polifenoles (TPC) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu; se mezclaron 0.5 mL de sobrenadante metanólico con 0.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 7 mL de agua destilada. Tras 5 min, se añadieron 2 mL de Na_2CO_3 al 20 % (p/v) y la mezcla se incubó a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 1 h. La absorbancia se midió a 732 nm en un espectrofotómetro. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con ácido gálico y los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g).

Determinación de actividad antioxidante

De acuerdo con Cavalcante (2022), la capacidad antioxidante se determinó mediante el método de DPPH (0.2 mM). Se mezclaron 0.4 mL de extracto de harina de mezquite con 2.0 mL de DPPH y 1.6 mL de agua destilada. La mezcla se incubó en oscuridad a temperatura ambiente durante 30 min y se midió la absorbancia de la solución a 517 nm en un espectrofotómetro.

Resultados y discusiones

Tabla 1. *Composición nutricional de la harina de mezquite.*

Analito	**Cantidad % (D.E)**
Lípidos	3.2 ± 0.17
Proteína	11.5 ± 3.2
Carbohidratos	45.9 ± 1.1
Fibra cruda	31.4 ± 0.023
Ceniza	5 ± 0.1
Humedad	3 ± 0.57

Composición nutricional del suero de leche y mezquite

La Tabla 1 presenta la composición nutricional de la harina de mezquite. Se observa un alto contenido de carbohidratos, principalmente fibra, y un valor proteico capaz de enriquecer alimentos bajos en proteínas. La variación en la fibra cruda puede deberse a diferencias en la técnica y al uso de la vaina completa en este estudio, a diferencia de Cavalcante, quien analizó solo semillas.

Tabla 2. *Muestra los valores obtenidos con el equipo Lactoscan®.*

Analito	**Cantidad % (D.E)**
Lípidos	0
Proteínas	3.24 ± 0.031
Lactosa	4.67 ± 0.011

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos con el equipo Lactoscan®. El suero analizado presentó proteína de 3,24 % y lactosa de 4,67 %, con ausencia de grasa debido a que era descremado. Estos resultados fueron ligeramente menores a los reportados por Kanchana (2020), quien encontró 3,7 % de proteína, 5 % de lactosa y 4,1 % de grasa en suero de leche entero.

Determinación antioxidante y contenido total de polifenoles

La Tabla 3 presenta la actividad antioxidante y el contenido total de polifenoles de la harina de vaina de Prosopis juliflora. La actividad antioxidante del extracto metanólico alcanzó 60,85 % de inhibición DPPH, valor muy similar al reportado en hojas por Badri et al. (2017) (61,55 %), lo que confirma la presencia de compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante. De manera consistente, el contenido total de polifenoles fue de 265.72 mg EAG/100 g, cifra superior a la informada por Cavalcante et al.: 204.27 mg EAG/100 g, lo que sugiere que el uso de la vaina completa y las condiciones de extracción aplicadas en este estudio favorecieron una mayor recuperación de compuestos fenólicos.

Tabla 3. *Actividad antioxidante y el contenido total de polifenoles de la harina de vaina de Prosopis juliflora.*

Propiedad funcional	
Actividad antioxidante	60.85 % ± 11.33 %
Contenido de polifenoles totales	265.72 ± 38.5 EAG/100 g

Conclusiones

La harina de mezquite presentó un alto contenido de fibra, proteína y polifenoles totales, además de una actividad antioxidante relevante y comparable con lo reportado en otras partes de la planta. Por su parte, el suero de leche empleado como base líquida mostró un buen aporte proteico y bajo contenido de lactosa, lo que respalda su aprovechamiento como ingrediente funcional. En conjunto, estos resultados evidencian el potencial de ambas materias primas para el desarrollo de bebidas funcionales, contribuyendo al uso de recursos subvalorados y a la innovación en alimentos sustentables.

Referencias

Badri, A. M., Garbi, M. I., Gmaraldeen, S. M., Magzoub, A. A., Ibrahim, I. T., Saleh, M. S., Kabbashi, A. S., y Mohamed, S. G. (2017). A*ntioxidant activity and phytochemical screening of Prosopis juliflora leaves extract.* Advancement in Medicinal Plant Research, 5(3), 37–40.

Bohórquez-Medina, Y. A., Ríos-Castillo, A. G., y Vargas-Arispuro, I. (2025). *Traditional culinary uses, food applications, and potential health benefits of Peruvian Mesquite (Prosopis juliflora and Prosopis pallida): Research advances and challenges – A review.* International Journal of Gastronomy and Food Science, 33, 100808.

Caballero, J., Cortés-Zárraga, L., Mapes, C., et al. (2023). *Ethnobotanical knowledge in Mexico: Use, management, and other interactions between people and plants.* In Ethnobotany of the Mountain Regions of Mexico. 25-63. Springer.

Cavalcante, B. R. F., Andrade, M. M., Ribeiro, D. T., y Lima, J. R. (2022). *Mesquite (Prosopis juliflora) grain flour: New ingredient with bioactive, nutritional and physical-chemical properties for food applications*. Food Research International, 161.

Chacón Gurrola, L. R., Chávez-Martínez, A., Rentería-Monterrubio, A. L., y Rodríguez-Figueroa, J. C. (2017). *Proteínas del lactosuero: usos, relación con la salud y bioactividades.* Interciencia, 42(11), 712–718. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33953499002

De Lemos, J. E. R., Santos, C. L. A., Silva, J. R. A., y Lima, M. S. (2023). *Nutritional, bioactive and health potential of Prosopis juliflora pods and seeds: A review.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 103(11), 5678–5689.

Espinoza-Pérez, J., Cortina-Villar, S., Perales, H., Méndez-Flores, O. G., y Soto-Pinto, L. (2024). *Edible plants as a complement to the diet of peasant farmers: A case study of the Totonacapan region of Puebla, Mexico.* Frontiers in Sustainable Food Systems, 8.

Gusmão, Cavalcanti-Mata, (2016). *Particle size, morphological, rheological, physicochemical characterization and designation of minerals in mesquite flour Journal of Cereal Science,* 69, 119–124. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.017

Knez, M., Ranić, M., y Gurinović, M. (2023). *Underutilized plants increase biodiversity, improve food and nutrition security, reduce malnutrition, and enhance human health and well-being: Let's put them back on the plate.* Nutrition Reviews, 82(8), 1111–1124.

Prokopidis, K., Morgan, P. T., Veronese, N., Morwani-Mangnani, J., Triantafyllidis, K. K., Kechagias, K. S., Roberts, J., Hurst, C., Stevenson, E., Vlachopoulos, D., y Witard, O. C. (2025). *The effects of whey protein supplementation on indices of cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials.* Clinical Nutrition, 44(8), 109–121. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.12.003

Rebman, J. P., Roberts, N. C., y Felger, R. S. (2016). *Annotated checklist of the vascular plants of Baja California, Mexico.* San Diego Natural History Museum.

Rizvi, N. B., Fatima, A., Busquets, R., Khan, M. R., Ashraf, S., Khan, M. S., y Oz, F. (2023). *Effect of the media in the Folin–Ciocalteu assay for the analysis of the total phenolic content of olive products.* Food Analytical Methods, 16, 1627–1634. https://doi.org/10.1007/s12161-023-02527-z

Villaseñor, J. L. (2016). *Checklist of native vascular plants of Mexico.* Revista Mexicana de Biodiversidad, 87(3), 459-902.

Capítulo **62**

Características físicas y sensoriales del dátil con fertilización orgánica

Flores Peñaloza Olivia[1*]
Ramos Lima Mayra[1]
Arredondo Cruz, M.A.[1]
Cantabrana Galindo Saharay[1]

[1] Instituto Tecnológico de Mexicali. Tecnológico Nacional de México, Av. Instituto Tecnológico s/n Plutarco Elías Calles 21376 Mexicali, Baja California, México. *olivia.flores@itmexicali.edu.mx.

Resumen

El dátil (*Phoenix dactylifera* L.) es un cultivo estratégico en regiones áridas de México, con alta relevancia económica en el Valle de Mexicali. Este estudio evaluó el efecto de un fertilizante orgánico rico en fósforo y azufre sobre las características físicas y sensoriales de los dátiles. Se establecieron tres tratamientos: control, aplicación única y doble aplicación. Se recolectó 1 kg de frutos por tratamiento y se analizaron peso, dimensiones, índice de forma, sólidos solubles (Brix), pH y atributos sensoriales mediante panel de jueces. La doble aplicación redujo significativamente peso, altura y anchura, mientras que Brix y la mayoría de los atributos sensoriales permanecieron estables, salvo la adhesividad, que fue sensible al tratamiento. Los efectos negativos observados podrían deberse a estrés transitorio o sobrecarga nutricional, mientras que mejoras en calidad podrían manifestarse en cosechas posteriores.

Introducción

El dátil (*Phoenix dactylifera* L.) es un cultivo estratégico en regiones áridas de México, con creciente importancia económica en el Valle de Mexicali, que concentra el 46,85 % de la producción nacional (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Ante la demanda global de alimentos más saludables y sostenibles, los fertilizantes orgánicos se presentan como una alternativa viable para mejorar la salud del suelo y la calidad del fruto. Estudios recientes muestran que la fertilización orgánica sola o combinada con biofertilizantes incrementa el rendimiento, los sólidos solubles y la composición nutricional en cultivares de dátil como Barhy y Sakkoti (El-Salhy et al., 2024; Ahmed et al., 2024). En México, Morales-Maza et al. (2024) reportaron efectos significativos de fertilización química, orgánica y combinada sobre variables morfológicas y rendimiento en palma Mejhoul. Por otro lado, Oufdou et al. (2021) sugieren que los efectos de la fertilización pueden manifestarse plenamente en cosechas posteriores.

Los lodos son excelentes abonos orgánicos para la agricultura, ya que son estables y ricos en nutrientes para las plantas. Además, su uso contri-

buye a la conservación del ambiente y para la salud humana (Gogoi et al., 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un lodo natural —en proceso de protección industrial— sobre las características físicas y sensoriales de frutos de dátil del valle de Mexicali.

Materiales y métodos

Los frutos de dátil (var. Medjool) se colectaron en un plantío situado en el Ejido Jiquilpan (32.5006° N, 115.0614° W), en el Valle de Mexicali, Baja California, México. Para el diseño experimental se seleccionaron tres hectáreas independientes: una como control (sin fertilización), otra con una única aplicación de fertilizante en el suelo, realizada el 31 de enero de 2025, y una tercera con dos aplicaciones (31 de enero y 23 de mayo). El fertilizante consistió en un lodo natural en proceso de protección industrial, cuyos componentes principales son P2O3, SO4-2 y S SO4. Se tomó 1 kg de frutos por tratamiento, seleccionados al azar entre las palmeras de cada tratamiento; estos se almacenaron en bolsas Ziploc® y se refrigeraron a 4 °C, hasta el momento de los análisis.

Se midieron peso (balanza Velab®, ±0.001 g), altura y anchura (calibrador Vernier, calculando índice de forma), sólidos solubles totales (Brix, refractómetro) y pH (1 g de pulpa en 25 mL de agua destilada, potenciómetro ROCA®). La evaluación sensorial fue realizada por cuatro jueces (20–70 años) con escala hedónica de nueve puntos para apariencia, aroma, textura, sabor y aceptabilidad global. Los datos se analizaron con Real Statistics Data Analysis Tools en Excel®, aplicando Shapiro-Wilk y Levene para verificar normalidad y homogeneidad de varianzas; ANOVA y Tukey HSD o Kruskal-Wallis y Dunn se usaron según correspondió, con un ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

Los frutos de dátil mostraron variaciones significativas asociadas al número de aplicaciones del fertilizante en parámetros como peso, anchura, altura y pH (Tabla 1).

Tabla 1. *Características físicas y químicas del dátil (media ± desviación estándar)*

Parámetro	Control	1 tratamiento	2 tratamientos
Peso (g)	22.38 ± 3.37 ab	24.94 ± 2.83 a	18.00 ± 4.45 b
Anchura (mm)	28.54 ± 1.51 ab	29.42 ± 1.57 a	26.51 ± 2.03 b
Altura (mm)	46.44 ± 2.77 a	43.18 ± 2.20 b	39.96 ± 2.84 c
Índice de forma	0.62 ± 0.04 a	0.68 ± 0.04 a	0.67 ± 0.04 a
°Brix	54.10 ± 5.78 a	51.88 ± 1.59 a	59.35 ± 1.63 a
pH	7.90 a	8.07 a	6.80 b

Nota: Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Las comparaciones se realizaron mediante ANOVA + Tukey (variables con distribución normal) o Kruskal–Wallis + Dunn (variables no normales).

El análisis no paramétrico de Kruskal–Wallis indicó diferencias significativas en el peso de los frutos ($p = 0.0077$) y el *post hoc* de Dunn reveló que los frutos con un solo tratamiento pesaron significativamente más que los que recibieron dos aplicaciones. La anchura se redujo con la doble fertilización respecto al único tratamiento y mostró una tendencia a la reducción frente al control. La altura de los frutos disminuyó de manera dosis-dependiente, siendo significativa entre todos los grupos (ANOVA, $p < 0.05$).

El índice de forma (anchura/altura) mostró un aumento no significativo ($p = 0.608$). Los sólidos solubles (Brix, 51–59) se mantuvieron dentro del rango típico para dátiles maduros, también sin diferencias significativas. Sin embargo, el pH se redujo notablemente en los frutos con doble aplicación (6.8) respecto al control y al tratamiento único, lo que podría reflejar alteraciones en la disponibilidad de nutrientes o en la fisiología del fruto. Estos hallazgos sugieren que la doble fertilización puede inducir un efecto transitorio de estrés nutricional, afectando el desarrollo del fruto, mientras que aplicaciones únicas tienden a mantener o incrementar ligeramente el tamaño sin alterar significativamente los contenidos de azúcares (Hakimi et al., 2024; AbdulBasser y Abd El All, 2025).

El análisis sensorial mostró que la mayoría de los atributos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que la calidad global del fruto se mantuvo estable. Solo la adhesividad de la pulpa resultó afectada ($p < 0.05$), siendo menor en los frutos con fertilización, lo que sugiere cambios asociados a la composición de azúcares o polisacáridos (Tabla 2).

Tabla 2. *Evaluación sensorial de frutos de dátil en escala hedónica (1 = ausente/malo, 9 = excelente/abundante). Valores expresados como media.*

Parámetro	Control	1 tratamiento	2 tratamientos
Color	9	9	7
Tamaño y forma	8	8	5
Integridad	6	5	7
Intensidad aromática	6	7	5
Calidad del aroma	6	6	5
Suavidad de la piel	9	8	7
Jugosidad	7	7	6
Fibrosidad	3	3	3
Adhesividad	7[a]	2[b]	2[b]
Dulzor	8	9	6
Acidez	1	1	1
Indeseados	1	1	2
Persistencia	4	4	6

Parámetro	Control	1 tratamiento	2 tratamientos
Equilibrio sensorial	7	9	8
Preferencia general	7	9	8

Nota: Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La aplicación de un lodo natural como fertilizante orgánico en palmas de dátil del valle de Mexicali no generó mejoras inmediatas en la productividad de la cosecha, lo cual es consistente con lo reportado en otros cultivos perennes. Los fertilizantes orgánicos suelen presentar una liberación más lenta de nutrientes debido a la necesidad de mineralización por la microbiota del suelo, lo que retrasa sus beneficios en comparación con fertilizantes sintéticos (Adekiya et al., 2020). En este sentido, los efectos observados en peso, altura y anchura de los frutos podrían estar asociados a una falta de nutrientes en la etapa clave de su desarrollo.

La estabilidad de los sólidos solubles (Brix) y la mayoría de los atributos sensoriales sugieren que la fertilización orgánica no compromete la calidad básica del fruto, un factor crucial para su aceptación comercial. No

obstante, la disminución en la adhesividad podría estar vinculada a cambios transitorios en la composición de azúcares o pectinas, posiblemente inducidos por un estrés fisiológico derivado de la incorporación del lodo (El-Mageed et al., 2018). Este tipo de respuestas ha sido documentado en frutales donde la introducción de prácticas orgánicas genera ajustes metabólicos antes de alcanzar un nuevo equilibrio productivo.

Los beneficios de la fertilización orgánica mejoran la fertilidad edáfica, retención de humedad y actividad microbiana, pero se manifiestan en el mediano y largo plazo (Scotti et al., 2015), lo que podría traducirse en mejores rendimientos y mayor calidad en cosechas posteriores. Por lo tanto, estos resultados corresponden a una fase inicial de transición hacia un manejo más sostenible, cuyos beneficios completos se observarán de manera acumulativa.

Conclusiones

La aplicación de un lodo natural como fertilizante orgánico en palmas de dátil del valle de Mexicali tuvo efectos limitados: la doble aplicación redujo peso, altura y anchura, mientras que Brix y la mayoría de los atributos sensoriales permanecieron estables, salvo la adhesividad. Estos efectos podrían reflejar un estrés transitorio y las mejoras asociadas a la fertilización orgánica podrían observarse en cosechas posteriores.

Referencias

AbdulBasser, A. R., y El-All, E. E. H. A. (2025). *Vermicompost and biochar improve yield, yield components and fruit quality of Seewy date palm variety.* SVU International Journal of Agricultural Sciences, 7(2), 150–160. https://doi.org/10.21608/svuijas.2025.361608.1440

Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Ejue, W. S., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., Aremu, C. O. (2020). *Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and antioxidant content of tomato.* Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(2), 107–113. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.08.004

Ahmed, M. A., Hassan, R. A., y El-Sayed, F. H. (2024). *Impact of organic and biofertilizers on growth, yield and fruit quality of date palm (Phoenix dactylifera*

L.). Journal of Applied Agricultural Research, 16(3), 112–125. https://doi.org/10.1016/j.jaar.2024.07.005

El-Mageed, T. A. A., Semida, W. M., Rady, M. M. (2018). *Moringa leaf extract as biostimulant improves water use efficiency, physio-biochemical attributes of squash plants under deficit irrigation.* Agricultural Water Management, 193, 46–54. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.004

El-Salhy, M., Badawy, A., Gadalla, E., y Hassan, H. (2021). *Effect of organic and bio-fertilization on growth and fruiting of Sakkoty date palm*. Assiut Journal of Agricultural Sciences, 52(1), 90–102. https://doi.org/10.21608/ajas.2021.172108

Gogoi A., Biswas S., Bora J., Sundar S., Sundar S. y Kumar M. (2015). *Effect of vermicomposting on copper and zinc removal in activated sludge with special emphasis on temporal variation.* Ecohydrol. Hydrobiol. 15 (2), 101-107. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2015.01.001

Hakimi, F., Sebbar, A., Bouamri, R., Sidikou, A. A. H., El Janati, M., y Bouaziz, A. (2024). *Effects of compost and compost tea on soil properties and nutrient uptake of the Moroccan date palm cultivar "Mejhoul" under organic cultivation.* Journal of Ecological Engineering, 25(7), 224–240. https://doi.org/10.12911/22998993/188334

Morales-Maza, A., Mendoza-Gómez, A., Cabada-Tavares, C. A., Beleño-Cabarcas, M. T., Torres-Ramos, R., y Cervantes-Díaz, L. (2024). *Response to chemical and organic fertilization in date palm (Phoenix dactylifera L.) Mejhoul variety in Northwestern Mexico.* Agro Productividad. Advance online publication. https://revista-agroproductividad.org

Oufdou, K., Benali, S., y Laamari, R. (2021). *Organic amendments in date palm cultivation: Effects on soil properties and fruit quality over successive seasons.* Scientia Horticulturae, 282, 110001. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110001

Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., y Rao, M. A. (2015). *Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems.* Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 15(2), 333–352. https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000031

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Capítulo **63**

Acrilato de potasio como alternativa para mitigar la escasez de agua en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) bajo diferentes sustratos en hidroponía

Rangel Preciado Alan Gerardo[1*]
Ruiz Martínez Fortunato[1]
López Bautista Everardo[1]
Peñuelas Montoya Francisco[1]
Miranda Valdez Jaime Antonio[1]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte Calle 16 y Avenida Japarqui, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México. CP 81110. *alangerardo-rangel@hotmail.com.

Resumen

La escasez de agua representa uno de los principales retos de la agricultura moderna en México, afectando la productividad de cultivos estratégicos como el chile jalapeño (Capsicum annuum L.). El presente trabajo evaluó el efecto del acrilato de potasio en la floración de chile jalapeño cultivado en diferentes sustratos bajo sistema hidropónico por goteo. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos: aluvión (A), aluvión con hidrogel (AyH), peat moss (PMyH), fibra de coco (FCyH) y tezontle (TzyH), con cuatro repeticiones. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los sustratos orgánicos, especialmente peat moss (7.17 flores) y fibra de coco (6.50 flores), favorecieron la floración, mientras que el tezontle (2.67 flores) presentó el menor número de flores. El tratamiento aluvión + hidrogel (4.92) mostró resultados similares al testigo (5.92), evidenciando la eficiencia del acrilato de potasio en la retención hídrica sin afectar el crecimiento. Estos resultados evidencian que la incorporación de acrilato de potasio y el uso de sustratos con alta retención hídrica pueden mejorar la eficiencia del uso del agua y el rendimiento potencial en sistemas hidropónicos. El uso de hidrogeles representa una alternativa viable para la agricultura sostenible en regiones con limitaciones hídricas.

Introducción

La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos de la agricultura moderna, agravado por el cambio climático y el crecimiento poblacional, que incrementan la presión sobre los recursos hídricos (Pedrozo, 2022). En México, el riego por gravedad sigue siendo predominante con eficiencias menores al 65 %, comprometiendo la sostenibilidad agrícola (CONAGUA, 2020). El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), cultivo de alto valor económico y cultural, ha mostrado un crecimiento en la producción nacional y en las

exportaciones (SIAP, 2024). Sin embargo, enfrenta limitaciones por el estrés hídrico y la degradación de suelos (Ahmad, et al. 2024).

Ante este panorama, es indispensable implementar tecnologías innovadoras, como los hidrogeles de acrilato de potasio. Según Ortiz et al. (2021), este tipo de hidrogel posee la capacidad de absorber y liberar gradualmente agua y nutrientes, mejorando la eficiencia hídrica en los sistemas de cultivo. En este sentido, la producción agrícola, al pasar de los métodos tradicionales a nuevas tecnologías que aumentan la productividad, impulsa la economía y cuida el medioambiente (Albores et al. 2024). Al integrarse con la hidroponía y el riego por goteo, esta tecnología podría contribuir a mejorar el rendimiento, la calidad de los frutos y la sostenibilidad del cultivo de chile jalapeño (IMTA, 2020).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el Campo Experimental de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte (UAS), en Juan José Ríos, Sinaloa, México. Se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con un testigo aluvión sin hidrogel (A) y cuatro tratamientos que combinan diferentes sustratos y la adición de acrilato de potasio, aluvión e hidrogel (AyH): peat moss (PMyH), fibra de coco (FCyH) y tezontle (TzyH). La unidad experimental está conformada por plantas de chile jalapeño distribuidas en un sistema hidropónico por goteo, con cuatro bloques y un total de 60 plantas.

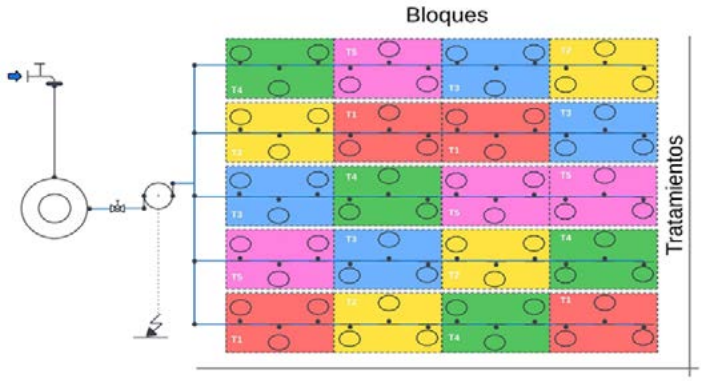
La solución nutritiva utilizada fue solución madre Steiner, ampliamente utilizada en hidroponía por su balance de macro y micronutrientes.

Cuadro 1. *Principales elementos presentes en la solución Steiner y sus proporciones.*

Iones	**Compuesto**	**Proporción (%)**
Aniones	NO3-	60
	H2PO4-	5
	SO4-2	35
Cationes	K+	35
	Ca2+	45
	Mg2+	20

Diseño del sistema hidropónico

Figura 1. *Esquema representativo del diseño experimental en bloques completamente al azar.*



Se evaluó el número de flores en promedio por tratamiento. El análisis de datos se realizó mediante ANOVA y para la comparación de medias se realizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El análisis de varianza evidenció que los tratamientos ejercieron un efecto altamente significativo sobre el número de flores en chile jalapeño (Capsicum annuum L.), explicando el 93 % de la variabilidad observada ($R^2 = 0.93$), mientras que el efecto de bloque no resultó significativo, lo que confirma la homogeneidad experimental.

Cuadro 1. *Medias obtenidas del número de flores por tratamiento.*

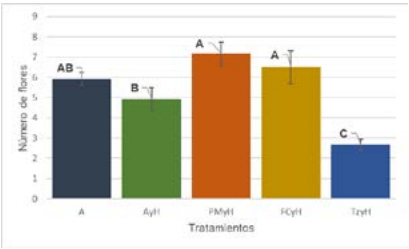
Tratamiento	Promedio número de flores
Aluvión (A)	5.29±0.32ab
Aluvión e hidrogel (AyH)	4.92±0.57b
Peat moss e hidrogel (PMyH)	7.17±0.58a
Fibra de coco e hidrogel (FCyH)	6.50±0.81a
Tezontle e hidrogel (TZyH)	2.67±0.27c

La prueba de Tukey mostró que los sustratos orgánicos presentaron el mejor desempeño, destacando los tratamientos peat moss (7.17 flores) y la

fibra de coco (6.50 flores), los cuales no difirieron estadísticamente entre sí. En contraste, el tezontle (2.67 flores) fue el sustrato menos favorable, mientras que el testigo aluvión (5.92 flores) y la combinación aluvión con hidrogel (4.92 flores) se ubicaron en un nivel intermedio.

Número de flores

Figura 2. *Promedio del número de flores de cada tratamiento.*



Estos resultados concuerdan con Ortiz et al. (2021), quienes señalan que los hidrogeles pueden reducir el estrés hídrico y mejorar la eficiencia del agua en el cultivo. Asimismo, coinciden con Rathore et al. (2020), quienes reportaron que la disponibilidad de agua y nutrientes influye directamente en la floración y rendimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones controladas; sin embargo, su efecto depende de la formulación y dosis empleada, como sugieren estudios recientes sobre eficiencia hídrica y capacidad de hinchamiento de hidrogeles agrícolas (Abobatta, 2018; Ahmad et al., 2024).

Conclusiones

El estudio demostró que el tipo de sustrato tuvo un efecto significativo sobre la floración del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Los tratamientos con peat moss y fibra de coco presentaron el mayor número de flores, mientras que el tezontle mostró el rendimiento más bajo. La combinación de aluvión con hidrogel mejoró ligeramente la respuesta respecto al aluvión solo, pero no superó a los sustratos orgánicos. Estos resultados sugieren que la elección del sustrato y el uso de tecnologías como hidrogeles son factores clave para optimizar el desarrollo reproductivo del cultivo en sistemas hidropónicos.

Referencias

Abobatta, W. (2018). *Impact of hydrogel polymer in agricultural sector*. Advances in Agriculture and Environmental Science, 1(2), 59-64. https://doi.org/ 10.30881/aaeoa.00011

Ahmad, A., Ordoñez García, J., Alexopoulos, A., Koutras, K., Kalogeras, A., Stefanidis, K., y Martos Núñez, V. (2024). *Agricultura 4.0: Integrando blockchain para una producción más eficiente y sostenible*. Revista Internacional de Innovación Agrícola, 15(2), 45–62. https://hdl.handle.net/10481/90630

Albores, J., Cruz, M., Llanes, J., Carrasco, E., Vázquez, V., y Cárdenas, N. (2024). *Avances y perspectivas de la agricultura de precisión para la sostenibilidad agrícola*. XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan, 12(24), 1–6.

Comisión Nacional del Agua (2020). *Atlas del agua en México 2020*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conagua

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2020). *Eficiencia en el uso del agua en la agricultura de riego en México*. https://www.imta.gob.mx

Ortiz, T., Rapado, M., y Peniche, C. (2021). *Hidrogeles superabsorbentes basados en poliacrilamida para aplicación agrícola: estudio de hinchamiento*. Revista Cubana de Química, 33(2), 46–68.

Pedrozo, A. (2022). *Perspectivas IMTA (No. 22)*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-22

Rathore, S., Shekhawat, K., y Singh, R. (2020). *Influence of water and nutrient management on growth and yield of Capsicum annuum under protected cultivation*. Journal of Applied and Natural Science, 12(2), 234–241.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera . (2024). *Panorama agroalimentario 2018–2024*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035

Capítulo **64**

Extractos vegetales para el control de mosca blanca y pulgón en el cultivo de chile bell en Culiacán, Sinaloa

Ruiz Quintero Federico[1*]
Félix Camacho Silvia Alicia[1]
Cruz Bojórquez Jesús Enrique[1]
González Balcázar Antonio[1]
Cruz Ortega Jacobo Enrique[1]
Castro Rubio Heidi Maribel[1]
Zazueta López Jorge Enrique[1]
Leal Bon Teresita de Jesús[1]

[1] Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa.*cobicruz@uas.edu.mx.

Resumen

El pimiento es afectado por plagas y enfermedades que ocasionan fuertes daños a su producción, entre las cuales destacan la mosca blanca y los pulgones. Estas plagas transmiten enfermedades virales que causan daños superiores al 50 % en este cultivo. El objetivo de la investigación es determinar el efecto de diferentes extractos vegetales sobre adultos de esas plagas. Este trabajo se desarrolló durante el ciclo agrícola 2024-2025, en los campos experimentales de la Facultad de Agronomía. Se usó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones para un total de 20 unidades experimentales, donde los tratamientos fueron T1 (testigo), T2 (extracto de cuscuta), T3 (extracto de biodese), T4 (extracto de neem) y T5 (extracto de canela). Las variables de respuesta fueron la efectividad de los extractos contra adultos y ninfas de mosca blanca y contra adultos de pulgones y la fitotoxicidad que pudieran causar dichos productos al cultivo después de su aplicación. Los resultados nos indican que todos los extractos aplicados ejercieron un buen control sobre las poblaciones de adultos de mosca blanca y pulgones cuando fueron comparados contra el testigo sin aplicación. Los extractos vegetales son una alternativa amigable para el control de mosca blanca y pulgón en el cultivo de chile. Tampoco provocaron fitotoxicidad en el cultivo.

Introducción

Para el ciclo agrícola 2024-2025, la superficie sembrada de chile en nuestro país fue de 157 221 hectáreas, las cuales generaron una producción total de 3 220 428 t para un promedio de 20.5 t por hectárea. El estado de Sinaloa, con una producción de 753 783 t y un promedio de producción del 49.2 t ha^{-1}, es la entidad que mayor aporta tanto al mercado nacional como internacional (SIAP, 2025). Las plagas del chile constituyen uno de los problemas más importantes en la reducción de la producción de esta

hortaliza si no se controlan de manera oportuna. Dentro de estas destacan por su importancia la mosca blanca y los pulgones, insectos que, además de causar daños directos al alimentarse succionando la savia de las plantas, provocan daños indirectos al ser transmisores de enfermedades virales de los grupos Potyvirus y Geminivirus (Flores et al., 2015). Una de las alternativas de control que se prueban como una alternativa de manejo sustentable de estas plagas es el uso de extractos vegetales, los cuales no contaminan, no generan resistencia y pueden usarse sin causar daños a la salud humana. Cocón (2003) indica que las aplicaciones de ajo y neem controlan satisfactoriamente la mosca blanca, ya que se obtuvieron controles de 80 % y 95 %; por su parte, García (2009) señala que los extractos de ajo a dosis de 1.5 L ha^{-1} y 2.0 L ha^{-1} contra esta misma plaga en pepino encontraron porcentajes de efectividad de 86 y 81 %, respectivamente; la dosis de 1.0 L ha^{-1} alcanzó un 78 %.

Fernández et al. (2013) encontraron que la mosca blanca *Bemisia tabaci* es la plaga más importante en invernaderos y que al aplicar semanalmente neem + enmiendas orgánicas es una alternativa válida para mantener la población de *B. tabaci* en el límite de tolerancia en un cultivo comercial de pimiento. Santiago et al. (2009) realizaron bioensayos en invernadero con hojas de frijol en donde se expusieron en un disco tratado con aceites esenciales de canela, naranja, clavo y tomillo, para el control de adultos de mosca blanca, y los resultados indican que a las 3, 4, 5, 6 y 24 horas después de la aplicación, los aceites esenciales de canela y tomillo a la concentración del 1 % mostraron la mayor repelencia con 91 y 93 %, respectivamente. Castresana y Puhl (2018) evaluaron la efectividad de cuatro productos botánicos como alternativa ecológica para el control de pulgones en cultivo protegido de pimiento; los extractos probados fueron: aceite esencial de canela, aceite esencial de cuasia, aceite de neem, extracto de ajo y un testigo sin aplicación. Se evaluó el número promedio total de pulgones por hoja y los resultados mostraron que el tratamiento con aceite de neem registró un número de pulgones menor comparado con el resto de los tratamientos y el testigo absoluto. Por la importancia que representan estas plagas en chile, se decidió realizar el presente trabajo con el de evaluar la efectividad de productos a base de extractos vegetales contra ninfas y adultos de mosca blanca y pulgón en el cultivo de chile bell pepper en el valle de Culiacán, Sinaloa.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en los campos experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizados en el kilómetro 17.5 de la carretera Culiacán-El Dorado, durante el ciclo agrícola 2024-2025. Se utilizó la variedad de chile Bell Pepper, variedad Marx, pimiento verde de campo abierto para ciclo largo en México. Se usó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones para un total de 20 unidades experimentales; cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro camas separadas a 1.60 m de ancho y 10 m de largo. El trasplante se realizó el 04 de diciembre de 2024; se tomó como parcela útil las dos camas centrales y en cada evaluación se eliminó medio metro de cada cama. Los tratamientos evaluados en la presente investigación fueron: T1 (Testigo), T2 (Extracto de cuscuta americana), T3 (Insecticida botánico comercial a base de extracto de neem (7,0 %), extracto de canela (5,0 %) y amida de coco (10 %), T4 (extracto de neem) y T5 (extracto de canela).

Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron con una aspersora motorizada de mochila marca Maruyama con una capacidad de 25 L, con un gasto de 300 litros por hectárea. Se efectuaron una vez por semana y se iniciaron al momento de detectar la presencia de los primeros adultos de mosca blanca y pulgones, y siete días después del trasplante del chile. Antes del inicio de las aplicaciones de los extractos, se realizó un muestreo previo y, al detectar la presencia de mosca blanca y pulgones, se aplicaron los tratamientos en campo.

Las variables de respuesta fueron la presencia de incidencia de ambas plagas, la efectividad de los extractos vegetales y la fitotoxicidad que estos pudieran causar en Chile. Para detectar las poblaciones de los insectos, se tomaron 20 hojas al azar de cada tratamiento de la parte media superior del cultivo y se procedió a contabilizar el total de adultos encontrados y detectados de manera visual; las evaluaciones se registraron muy temprano (6 de la mañana) para evitar el vuelo de estos insectos. Para el caso de ninfas, se evaluaron bajo condiciones de laboratorio con la ayuda de un microscopio estereoscópico y para esto se seleccionó un centímetro cuadrado de cada hoja y se contabilizaron las ninfas presentes en el área

comprendida de 1.0 cm². En el caso de *Myzus persicae* (pulgón), se contaron adultos alados y ápteros encontrados tanto por el envés como por el haz de las hojas; las evaluaciones se registraron antes de cada aplicación de los extractos vegetales y a los 3, 7, 15 y 21 días después de cada aplicación de estos. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y, al existir diferencias entre tratamientos, se realizaron las comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey al 0,05 % (SAS, 2009). La fitotoxicidad al cultivo se evaluó a los 3, 5 y 7 días después de aplicados los productos y se comparó con el testigo sin aplicación; para esta variable se empleó la escala de puntuación propuesta por el Sistema Europeo de Evaluación para Control de Malezas y Daño al Cultivo (EWRS).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se observa que en las evaluaciones de los 14 días después de las aplicaciones (DDA) de los orgánicos, los tratamientos con mejor efectividad fueron extracto de neem, el extracto de canela y amida de coco, así como el extracto de neem solo, con un promedio de adultos de 9,5 % y 11,2 %, sin presentar diferencias estadísticas entre estos tratamientos, pero sí con el testigo sin aplicación, que mostró un promedio de adultos de 46,2 %. En las evaluaciones registradas a los 21 DDA, el extracto de cuscuta y la combinación del extracto de neem, extracto de canela y amida de coco resultaron los mejores, con promedio de 12,0 y 16,2 %, respectivamente. No mostraron diferencias estadísticas entre ellos, pero sí con el testigo, que fue el tratamiento con mayor población de adultos, con un promedio de 47,2 % (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con lo expuesto por Cocón (2003), García (2009), Santiago et al. (2009) y Fernández et al. (2013), quienes señalan que los extractos de plantas son una alternativa real para el control de adultos y ninfas de mosca blanca.

Cuadro 1. *Evaluación registrada de adultos de mosca blanca en el cultivo de chile bell pepper, después de la aplicación de extractos vegetales.*

Tratamientos	Adultos M. blanca (7 DDA)	Adultos M. blanca (14 DDA)	Adultos M. blanca (21 DDA)	Adultos M. blanca (28 DDA)
Testigo no aplicado (T1)	25.5 a*	46.2 a*	47.2 a*	18.2 a*
Extracto de cuscuta (T2)	16.5 ab	25.5 b	12.0 c	6.7 b
Extracto de neem, extracto de canela y amida de coco (T3)	4.7 c	9.5 c	16.2 c	8.8 b
Extracto de neem (T4)	14.0 bc	11.2 c	22.0 b	7.7 b
Extracto de canela (T5)	20.0 ab	12.5 bc	23.0 b	8.0 b

*Tratamientos con la misma letra no son diferentes estadísticamente según Tukey 0.05

Cuadro 2. *Evaluación registrada de ninfas de mosca blanca en el cultivo de chile bell pepper, después de la aplicación de extractos vegetales.*

Tratamientos	Adultos M. blanca (7 DDA)	Adultos M. blanca (14 DDA)	Adultos M. blanca (21 DDA)	Adultos M. blanca (28 DDA)
Testigo no aplicado (T1)	4.7 a*	2.7 ab*	2.2 b*	14.0 a*
Extracto de cuscuta (T2)	5.0 a	4.2 a	2.7 b	3.0 b
Extracto de neem, extracto de canela y amida de coco (T3)	2.0 a	1.0 b	2.2 b	1.0 b
Extracto de neem (T4)	2.2 a	1.2 b	2.5 b	2.5 b
Extracto de canela (T5)	2.0 a	2.0 ab	7.0 a	5.0 b

*Tratamientos con la misma letra no son diferentes estadísticamente según Tukey 0.05

Con respecto a la evaluación de ninfas de mosca blanca, las poblaciones se mantuvieron bajas y, en la evaluación, a los 28 DDA, se encontró que los tratamientos a base de extractos fueron diferentes estadísticamente con respecto al testigo sin aplicación. En el Cuadro 2, se aprecia que la población más alta de ninfas se observó en el testigo con 14,0 % como promedio, y la combinación de los extractos (T3) fue la población con el menor promedio de ninfas, con 1,0 %, seguido por el extracto de neem con 2,5 % y el de cuscuta con 3,0 %. Con respecto a los pulgones, aunque las poblaciones se mantuvieron altas en algunos tratamientos con extractos como el de canela (9,0 %) en las evaluaciones realizadas a los 28 DDA, las poblaciones

más elevadas de este insecto se observaron en el testigo sin aplicación, con un 25,0 % de incidencia. Este tratamiento presentó diferencias estadísticas significativas en comparación con los tratamientos que recibieron los extractos (Cuadro 3).

Cuadro 3. *Evaluación registrada de pulgones (Myzus persicae) en el cultivo de chile bell pepper, después de la aplicación de extractos vegetales.*

Tratamientos	**Adultos M. blanca (7 DDA)**	**Adultos M. blanca (14 DDA)**	**Adultos M. blanca (21 DDA)**	**Adultos M. blanca (28 DDA)**
Testigo no aplicado (T1)	13.5 a*	20.7 a*	33.0 a*	25.0 a*
Extracto de cuscuta (T2)	11.5 a	15.5 a	16.7 b	8.5 b
Extracto de neem, extracto de canela y amida de coco (T3)	6.5 a	11.0 a	11.5 b	8.0 b
Extracto de neem (T4)	11.5 a	13.5 a	15.7 b	8.0 b
Extracto de canela (T5)	6.3 a	14.7 a	16.2 b	9.0 b

*Tratamientos con la misma letra no son diferentes estadísticamente según Tukey 0.05

Conclusiones

Los extractos vegetales no provocaron daños al cultivo de chile verde. Finalmente, todos los extractos probados contra adultos y ninfas de mosca blanca mostraron excelentes resultados para disminuir las poblaciones de este insecto; los extractos probados para el control de pulgones mostraron eficacia al compararse con el testigo sin aplicación. Ninguno de los extractos provocó fitotoxicidad al cultivo de chile bell pepper. Los extractos de canela, neem, cuscuta y la amida de coco pueden usarse en sistemas de manejo integrado de estas plagas de chupadores en Chile.

Referencias

Castresana, J. E. y Puhl, L. (2018). *Eficacia de insecticidas botánicos sobre Myzus persicae (Sulzer) y Aphis gossypii (Clover) (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) bajo cubierta.* Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12(1), 136-146. https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i.

Cocón, C, G. (2003). *Extractos de ajo para reducir las poblaciones de mosquita blanca Bemisia tabaci Geen. en calabacita (Cucurbita pepo L.)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo] 39.

Fernández, J.A., Ghiggia, L.I., Macian, A.J., Arce, O., Jaime, A.P. y M.R. Paz. (2013). *Dos sistemas de manejo de un cultivo comercial de pimiento (Capsicum annum L.) bajo carpa plástica para el control de Bemisia tabaci G., en Lules, Tucuman*. Revista Agronomía N.O. Argentina, 33(1), 21-24.

Flores, A.L., Geraud, P.F., Chirinos, D. y L. Meléndez, R. (2015). *Efectividad de algunos insecticidas para el control de Bemisia tabaci (Gennadius) en tomate, Solanum lycopersicum L.* Revista Interciencia, Volumen 40(2), 121-125.

García, V. V., Soto, A.G. y T. Bacca. (2014). *Efecto insecticida de productos alternativos en Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera-Aleyrodidae)*. Revista Colombiana de Entomología, 40(2), 143-147.

Santiago, V. S. C. Rodríguez H; L. D. Ortega A; D. Ochoa M. y S. Infante G. (2009). R*epelecian de adultos de mosca blanca Trialeurodes vaporariorum West.) con aceites esenciales.* Fitosanidad. 13(1). Ciudad de la Habana

SAS. (2009). *Statistical Analysis System Institute, North Carolina USA v.9.2.*

SIAP. (2025). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.* https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Capítulo **65**

Estudio preliminar del potencial del orujo de uva en la alimentación animal

Moreno Cruz Carlos Francisco[1*]
Tzintzun Camacho Olivia[1]
González Mendoza Daniel[1]
Cabrera Cruz Miguel Alejandro[1]
Gerónimo Cruz Anabel[1]
Pacheco Hernández Yesenia[2]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Carretera a Delta s/n, C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.* carlos.moreno62@uabc.edu.mx.
[2] Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla, Popocatépetl s/n, Reserva Territorial Atlixcáyotl, Tres Cerritos, CP 72480, Puebla, México.

Resumen

La industria vinícola genera grandes cantidades de residuos con potencial de valorización en el sector pecuario. El orujo de uva es un residuo que puede aprovecharse como suplemento alimenticio, contribuyendo a mejorar la calidad nutricional de los productos de origen animal. En este estudio se caracterizaron tres tipos de orujo (tinto, blanco y rosado) mediante los métodos de AOAC 2015 y el análisis elemental por espectroscopía de emisión óptica basada en plasma acoplados inductivamente (ICP-OES). El orujo blanco y rosado presentaron un contenido proteico cercano al 4 %, mientras que el orujo tinto alcanza valores del 12 %. Las tres muestras analizadas presentan valores de fibra cruda entre 7 y 15 %. Además, el orujo rosado destaca por su aporte de macro y micronutrientes esenciales para el metabolismo animal. Los resultados del estudio muestran la caracterización del orujo de uva y su potencial en la alimentación animal.

Introducción

La industria vinícola produce grandes cantidades de residuos, como cáscaras, tallos, semillas, que representan entre el 30 y 50 % del peso del fruto (Buican et al., 2025; López-Astorga et al., 2023). México se encuentra entre los principales productores de uva, tanto para vino como de mesa. A nivel nacional, Baja California cuenta con 4 393 hectáreas de uva cultivadas, con una producción de 22 800 toneladas y una generación de aproximadamente 9 000 toneladas de orujo de uva al año (SADER, 2022). El orujo de uva representa una fuente importante de compuestos fenólicos, polisacáridos y proteínas (Tzintzun-Camacho et al., 2021), que pueden ser valorizados en el sector pecuario como alimento y aportar un beneficio a la salud animal. La producción pecuaria aporta el 39 % de la proteína consumida a nivel mundial (FAO, 2018). Por ello, se vuelve fundamental el uso del orujo de uva como complemento o sustituto de los alimentos

convencionales, lo cual representa una oportunidad con implicaciones positivas para la economía y los recursos naturales. Estudios recientes han empleado el orujo de uva en la alimentación animal, mostrando efectos positivos en la prevención del estrés oxidativo, la modulación de procesos inflamatorios y la mejora en la microbiota intestinal en animales monogástricos (Eder et al., 2025). Asimismo, se ha reportado que su inclusión en la dieta puede reducir la fecundidad de nematodos en borregos infectados (Mena et al., 2025). Por otra parte, el ensilado del orujo blanco ha demostrado conservar su composición nutrimental, lo que lo posiciona como una alternativa económica y rentable en comparación con los forrajes convencionales para rumiantes (Galvez-Lopez et al., 2025). Además, la suplementación del 10 al 15 % de orujo de uva fresco en la dieta de vacas lecheras ha reducido las emisiones de metano, sin afectar la producción de leche (Akter et al., 2025). Por lo tanto, este trabajo está enfocado en caracterizar harinas de orujo tinto, blanco y rosado, así como su aporte en minerales y seguridad para su uso potencial como suplemento alimenticio en la alimentación animal.

Materiales y métodos

Se recolectaron muestras de orujo de uva para vino tinto, blanco y rosado de dos empresas vinícolas representativas en el Valle de Guadalupe. Las muestras se almacenaron a -20°C hasta su uso. El procesamiento de los residuos vinícolas consistió en separar manualmente la cáscara y semilla de las uvas; las fracciones se colocaron independientemente en charolas de aluminio. Las muestras se secaron en un horno (Grieve, Mod. 0-201C) a una temperatura de 60°C durante 48 h. Las fracciones secas se molieron en un molino (Thomas Wiley Mill, Modelo 4) empleando una malla con tamaño de partícula de 2 mm. Los polvos de piel y semillas de uva se almacenaron en frascos oscuros, manteniéndolos a temperatura ambiente y en oscuridad. Posteriormente, se realizó la caracterización proximal de las harinas de orujo tinto, blanco y rosado en el laboratorio de Análisis Químico para Alimentos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM (México). Los métodos utilizados corresponden a los descritos en la AOAC 2015 (934.01, 2001.11, 920.39, 942.05, 962.09), para la determinación de humedad, proteína cruda, grasa cruda, cenizas y fibra cruda.

Para la identificación y cuantificación de minerales en la harina de orujo rosado, se utilizó una solución patrón multielemento para ICP (CertiPUR, Merck KGaA, Darmstadt, Alemania), que contenía 20 elementos de referencia. Para la determinación del contenido mineral (Al, B, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Si, V y Zn), se empleó un espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), modelo Varian Axial 730-ES (Varian, Palo Alto, CA, EE. UU.).

Resultados y discusión

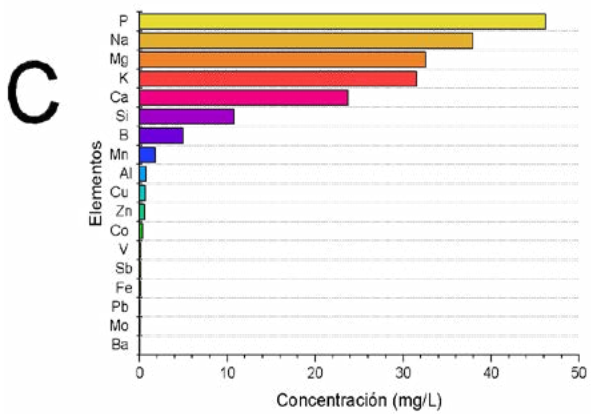
El análisis proximal de las harinas del orujo tinto (OT), orujo rosado (OR) y del orujo blanco (OB) se muestra en el Cuadro 1. Como resultado, se observó un alto contenido de proteína en el OT en comparación con el resto de los orujos (OR y OB). Sin embargo, la fracción de ELN es mayor para la harina de orujo rosado y orujo blanco, aportando carbohidratos solubles fácilmente digestibles. También es importante considerar el contenido de fibra cruda en la formulación de los alimentos, ya que puede estar conformada por pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina y ser aprovechada por la microbiota intestinal (López-Astorga et al., 2023). Los productos del metabolismo de la fibra podrían prevenir enfermedades inflamatorias, estrés oxidativo y mejora en la microbiota (Eder et al., 2025). La harina de orujo rosado contiene 4,70 % de cenizas; dentro de la composición mineral del orujo rosado, destacan macronutrientes como calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na) y fósforo (P), en concentraciones de 23 a 46 mg/kg. Asimismo, aportan micronutrientes como manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), cobalto (Co), molibdeno (Mo) e hierro (Fe), en concentraciones inferiores a 1.78 mg/kg (Figura 1). Estos macro y micronutrientes llevan funciones clave en la nutrición animal, ya que participan en la eficiencia energética, síntesis de proteínas y el mantenimiento celular; algunos son cofactores de enzimas, lo que podría favorecer la salud animal y la producción de alimentos de mayor calidad (Eghtedari et al., 2025), siempre y cuando sean utilizados en los porcentajes correctos dentro de una dieta equilibrada (Blasi et al., 2024). Sin embargo, el orujo rosado presentó elementos tóxicos como el plomo (0.08 mg/kg), sin superar los máximos permisibles de 5 mg/kg para piensos con 12 % de humedad de acuerdo a la Directiva Europea 2002/32/CE.

Cuadro 1. *Análisis químico de las harinas de orujo de uva tinto, rosado y blanco.*

	Orujo tinto	Orujo rosado	Orujo blanco	$\bar{X}$	s	CV
Materia seca	94.31	93.90	93.82	94.01	0.26	0.28
Humedad	5.69	6.10	6.18	5.99	0.26	4.39
Proteína cruda	12.05	4.93	4.59	7.19	4.21	58.59
Extracto etéreo	6.03	2.71	2.46	3.73	1.99	53.38
Cenizas	9.60	4.70	4.10	6.13	3.02	49.19
Fibra cruda	15.57	8.26	7.11	10.31	4.59	44.49
ELN1	51.06	73.30	75.55	66.64	13.54	20.31

Los resultados se expresan en porciento (%) base húmeda.
1ELN: Extracto libre de nitrógeno.
CV: Coeficiente de variación (%).

Figura 1. *Concentración de elementos minerales presentes en la harina de orujo rosado*



Conclusiones

Este estudio demostró que las harinas de orujo de uva tienen potencial como suplemento en las dietas pecuarias, al aportar proteína, fibra, compuestos bioactivos y elementos minerales de importancia metabólica. Asimismo, evidencia la importancia de realizar análisis químicos en los alimentos para garantizar la salud animal y considerar la posible presencia de elementos tóxicos.

Referencias

Akter, A., Li, X., Grey, E., Wang, S. C., y Kebreab, E. (2025). *Grape pomace supplementation reduced methane emissions and improved milk quality in lactating dairy cows*. Journal of Dairy Science, 108(3), 2468-2480. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25419

Buican, B. C., Luchian, C. E., Colibaba, L. C., Niculaua, M., Bordean, M. E., Kallithraka, S., y Cotea, V. V. (2025). *Aroma Compounds from Grape Pomace: Investigation of Key Winemaking Factors for Future Extraction Applications—A Review*. Horticulturae, 11(3), 302. https://doi.org/10.3390/horticulturae11030302

EC-European Commission. (2002). *Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed*. Luxemb Off J Eur Union, 140, 10-22. https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002L0032:20061020:EN:PDF

Eder, K., Ringseis, R., y Gessner, D. K. (2025). *Effects of Grape By-Products on Oxidative Stress and Inflammation in Farm Animals: An Overview of Studies Performed in Pigs, Chickens, and Cattle*. Animals, 15(11). https://www.mdpi.com/2076-2615/15/11/1536

Eghtedari, M., Khezri, A., Kazemi-Bonchenari, M., Mohammadabadi, M., Mahani, S. E., y Aschenbach, J. R. (2025). *Phosphorus has a crucial role in growth performance of calves fed starters with incorporated forage*. Animal Nutrition. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2025.01.012

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Shaping the future of livestock. Sustainably, responsibly, efficiently*. http://www.fao.org/3/i8384en/I8384EN.pdf

Galvez-Lopez, M., Navarro, A., Muelas, R., Roca, A., Peris, C., Romero, G., y Díaz, J. R. (2025). *Potential of Baled Silage to Preserve White Grape Pomace for Ruminant Feeding*. Agriculture, 15(9), 974. https://doi.org/10.3390/agriculture15090974

López-Astorga, M., Molina-Domínguez, C. C., Ovando-Martínez, M., y Leon-Bejarano, M. (2023). *Orujo de Uva: Más que un Residuo, una Fuente de Compuestos Bioactivos*. EPISTEMUS, 16(33), 115–122. https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.283

Mena, M. O., Trevise, G. G., Silva, T. N., Moellmann, V. M., Bassetto, C. C., Gatti, B. S. y Amarante, A. F. (2025). E*valuation of Grape Pomace Supplementation in Lamb Diets to Mitigate Haemonchus contortus Infection.* Agriculture, 15(3), 341. https://doi.org/10.3390/agriculture15030341

SADER, 2022 https://www.gob.mx/agricultura%7Cbajacalifornia/articulos/generaron-productores-de-vid-de-baja-california-derrama-economica-superior-a-los-595-mdp

Tzintzun-Camacho, O., Hernández-Jiménez, V., González-Mendoza, D., Pérez-Pérez, J. P., Troncoso-Rojas, R., Duran-Hernández, D., Cecena-Durán, C. y Moreno-Cruz, C. F. (2021). *Characterization of grape marc hydrolysates and their antifungal effect against phytopathogenic fungi of agricultural importance.* Chilean Journal of Agricultural Research, 81, 151–160. https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000200151.

Capítulo **66**

Extracción de ácido carmínico como colorante natural a partir de la cochinilla (*Dactylopius coccus* (*Hemiptera: dactylopiidae*)

Roque Valenzuela Yareli[1*]
Gómez Hernández Magda Isabel[1]

[1] Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, San Quintín, Baja California, México. C.P. 22930. *yareli.roque@uabc.edu.mx.

Resumen

El uso de colorantes naturales, como el ácido carmínico extraído de la cochinilla (*Dactylopius coccus*), ha ganado importancia debido a la creciente demanda de alternativas más saludables y sostenibles frente a los colorantes sintéticos. Su aplicación en la industria alimentaria y cosmética requiere métodos eficientes de extracción y cuantificación para garantizar calidad y seguridad (Atwa, 2015; Reyes-Pérez et al., 2024). Esta investigación revisa las técnicas actuales de extracción y purificación del ácido carmínico, evaluando avances recientes para mejorar los procesos industriales (Borges et al., 2012; Ferreyra-Suarez et al., 2024).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la extracción del ácido carmínico (ACAR) a partir de cochinilla (*Dactylopius coccus*), empleando técnicas de extracción sólido-líquido, precipitación y cristalización. Se utilizaron muestras de cochinilla seca e hidratada, realizando cinco repeticiones. El proceso consistió en la extracción inicial en agua destilada, precipitación con cloruro de calcio, filtraciones sucesivas y liberación del pigmento mediante ácido clorhídrico y metanol. Finalmente, el ácido carmínico fue secado en horno a 75 °C durante 6 horas para su cristalización. Los resultados evidenciaron que la cochinilla seca presentó mayor rendimiento (11.8 g) en comparación con la hidratada (9.4 g), confirmando que el contenido de humedad influye en la eficiencia del proceso.

Introducción

La grana o cochinilla (*Dactylopius* sp.) es un insecto hemíptero parásito que se encuentra principalmente en las plantas de cactus del género Opuntia. Este insecto es conocido por su capacidad para sintetizar ácido carmínico, un compuesto fenólico que constituye entre el 17 % y el 24 % de su peso seco y es responsable del característico color rojo carmín (Borges, 2012). El ácido carmínico ha sido ampliamente utilizado como colorante natural

en diversas industrias debido a su estabilidad frente a la luz y al calor, lo que lo convierte en un ingrediente clave en productos alimenticios y cosméticos (Jingyi, 2025).

La extracción del colorante carmín es un proceso delicado que involucra varios pasos para garantizar la calidad y pureza del pigmento. Primero, las cochinillas se recolectan de sus plantas hospedadoras y se secan para reducir su contenido de humedad y facilitar su conservación. Posteriormente, se muelen hasta obtener un colorante, que luego se somete a un proceso de extracción mediante ebullición en soluciones acuosas. Este tratamiento libera el ácido carmínico contenido en el insecto, el cual se precipita mediante la adición de sales metálicas, formando laca carmín, un compuesto insoluble que conserva las propiedades del pigmento (IDRC, 2014; Ferreyra, 2024).

El uso del carmín es diverso y abarca múltiples sectores: en la industria alimentaria se utiliza en productos como yogures, confitería, bebidas y cárnicos, donde está registrado como E-120 (Ryzhov, 2024). En cosméticos, se encuentra en labiales, sombras, esmaltes y polvos faciales (Sheena, 2024). Además, el carmín ha sido empleado en el arte desde el Renacimiento, utilizado en pinturas y acuarelas (PMC, 2024). En biología y medicina, el ácido carmínico es esencial en la tinción histológica para la observación de tejidos y células (Jingyi, 2025).

La importancia económica, histórica y cultural del ácido carmínico, junto con su creciente demanda debido a las preferencias de los consumidores por aditivos naturales, subraya la relevancia de este estudio. El objetivo de la presente investigación es evaluar el porcentaje de extracción de ácido carmínico a partir de cochinilla seca y fresca, utilizando técnicas de extracción sólido-líquido y precipitación. Esto permitirá obtener un pigmento de alta calidad y comprender los procesos químicos involucrados en su obtención.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín (FINSQ). Se colectaron las colonias de grana o cochinilla secas y frescas de plantas de nopal (*Opuntia* sp.) para llevar a cabo

la extracción de ácido carmínico en el laboratorio de Ciencias Químicas de la FINSQ mediante la técnica de (Pérez, 2023). La recolecta de la cochinilla se llevó a cabo mediante la técnica de barrido con la ayuda de pinceles y se conservó en contenedores de vidrio hasta su traslado al laboratorio. Se realizaron cinco repeticiones de 5 g cada una para cada tipo de cochinilla.

Extracción de ácar

Primera extracción: Se mezcla agua destilada con la cochinilla para realizar una extracción sólido-líquido. La mezcla se calienta entre 70 y 90 °C durante 15 minutos; todas las muestras se juntan en una olla para calentar a baño maría y no tener que hacerlo uno por uno.

Sedimentación: De la solución obtenida se separan 50 ml, a los cuales se agregan 25 g de cloruro de calcio ($CaCl_2$). Esto genera carbonato de calcio ($CaC_2H_{14}O_{16}$) en forma de una pasta oscura acompañada de líquido.

Primera filtración: Con papel filtro y embudo se aísla el carminiato de calcio del líquido sobrante.

Segunda extracción: La pasta negra de carminiato de calcio se trata con 1 ml de metanol (CH_3OH) y 1.25 ml de ácido clorhídrico (HCl), lo que permite liberar el ácido carmínico.

Segunda sedimentación y filtración: El ácido carmínico se deja en reposo durante 30–40 minutos y posteriormente se filtra con papel filtro para separar el pigmento del residuo sólido.

Rendimiento

Secado del ácido carmínico: Finalmente, el líquido con ACAR se coloca en un horno de secado a 75 °C durante 6 horas, logrando así su cristalización, para posteriormente pesar por individual las muestras y obtener un promedio general de peso de ACAR.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos evidencian que el estado de la materia prima influye significativamente en el rendimiento del ácido carmínico. En nuestro caso, la cochinilla seca generó un mayor peso de pigmento cristalizado (11.8 g por cada 25 g de muestra) en comparación con la cochinilla viva o hidratada (9.4 g por cada 25 g de muestra). Este comportamiento concuerda con lo reportado por Borges (2012), quien señala que la humedad residual disminuye la eficiencia de extracción. De forma similar, García-Luna et al. (2023) reportaron mayores rendimientos al utilizar cochinilla deshidratada frente a muestras frescas, atribuyéndolo a una mayor concentración del ácido carmínico en estado seco.

Asimismo, la precipitación con cloruro de calcio y la liberación con ácido clorhídrico demostraron ser pasos clave para garantizar la recuperación del pigmento, coincidiendo con los métodos descritos por Ferreyra (2024).

En cuanto a la aplicabilidad, nuestros resultados reafirman el potencial del ácido carmínico como colorante natural con ventajas frente a los sintéticos, debido a su estabilidad térmica y su aceptación en la industria alimentaria y cosmética (ScienceDirect, 2024). No obstante, factores como la temperatura de extracción, el tiempo de reposo y el tipo de solventes empleados pueden modificar tanto el rendimiento como la pureza del pigmento final, lo que abre oportunidades para optimizar el procedimiento en futuras investigaciones.

Cuadro 1. *Gramos de ácido carmínico extraído por cada 5 g de cochinilla.*

Muestra	**Cochinilla seca**	**Cochinilla viva**
1	2.3 g	1.9 g
2	2.3 g	2.0 g
3	2.3 g	1.7 g
4	2.5 g	1.7 g
5	2.4 g	2.1 g
Total.	11.8 g	9.4 g
Total de tinta	-	21.2 g

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El ácido carmínico puede extraerse exitosamente de la cochinilla mediante técnicas de extracción sólido-líquido, precipitación y cristalización.

El rendimiento del pigmento fue mayor en cochinilla seca (11.8 g) en comparación con la hidratada (9.4 g), lo que demuestra que el contenido de humedad influye en la eficiencia del proceso.

La metodología empleada confirma la viabilidad del uso de la cochinilla como fuente de colorante natural para aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica.

Se recomienda optimizar variables como la concentración de solventes y el tiempo de secado para mejorar la pureza y el rendimiento del ácido carmínico obtenido.

Referencias

Atwa, M. A. (2015). *Quantitative determination of cochineal extract, carmine, carminic acid, and 4-aminocarminic acid in some food-stuffs.* Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology, 6(6), 177–190. https://doi.org/10.21608/jacb.2015.48399

Borges, M. E., Tejera, R. L., Díaz, L., Esparza, P., y Ibáñez, E. (2012). *Natural dyes extraction from cochineal (Dactylopius coccus Costa): New extraction methods.* Food Chemistry, 132(4), 1855–1860. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.018

Ferreyra-Suarez, D., Paredes-Vargas, L., Jafari, S. M., García-Depraect, O., y Castro-Muñoz, R. (2024). *Extraction pathways and purification strategies towards carminic acid as natural-based food colorant: A comprehensive review.* Advances in Colloid and Interface Science, 323. https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103052

MacGillivray, A. D. (1921). *The Coccidae: Tables for the identification of the subfamilies and some of the more important genera and species, together with discussions of their anatomy and life history.* Scarab Company. https://archive.org/details/coccidae-tables-for-the-identification-of-the-subfamilies

Reyes-Pérez, R., Pérez-Hernández, J., Rosas-Morales, M., Plascencia-Espinosa, M. Á., Lazo-Zamalloa, O., López-Gayou, V., López, P.

A., Ríos-Cortés, G., y Ríos-Cortés, A. M. (2024). *Quantification of cochineal pigments by UV spectrophotometry*. Processes, 12(7). https://doi.org/10.3390/pr12071253

Salazar-Llangarí, K. G., Erazo-Lara, A. E., Oñate-Bastidas, B. A., Condo-Plazas, L. A., y Cañar-Rivera, J. L. (2023). *Extracción de ácido carmínico como colorante natural a partir de la cochinilla (Dactylopius coccus Costa)*. Polo del Conocimiento, 8(3), 583–605. https://doi.org/10.23857/pc.v8i3

Capítulo **67**

Aplicación de diferentes dosis de un inductor de resistencia contra la cenicilla del tomate (*Oidiopsis taurica salmon*), en Sinaloa, México

Cruz Bojórquez Jesús Enrique[1*]
González Balcázar Antonio[1]
Cruz Ortega Jacobo Enrique[1]
Ruiz Quintero Federico[1]
Félix Camacho Silvia Alicia[1]
Rodríguez Rosas Laura Elena[1]
José Oscar Armenta Ayala[1]

[1] Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. * cobicruz@hotmail.com.

Resumen

El uso de los extractos vegetales en el control de enfermedades ha tomado auge en los últimos años y constituye una alternativa en las hortalizas que se usan para consumo fresco; *Reynoutria sachalinensis Schmidt* incrementa el sistema natural de defensa de las plantas, aumentando hasta cinco veces la producción de compuestos fenólicos en los vegetales, lo que redunda en una mejor protección contra enfermedades causadas por hongos y bacterias. Se probó la efectividad del extracto contra la cenicilla en tomate; se usó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro réplicas. Las dosis evaluadas fueron 1.0, 1.25 y 1.50 kg ha^{-1}, un químico (myclobutanil) y un testigo absoluto. Las variables de respuesta fueron el porcentaje de severidad de la enfermedad, la efectividad de los tratamientos y la fitotoxicidad que pudieran provocar dichos productos en tomate. Los resultados después de cinco evaluaciones registradas demostraron que el extracto a dosis de 1.0, 1.25 y 1.5 kg ha^{-1} mostró una severidad de 5,25, 3,25 y 1,5 %, y una efectividad de 80,7, 88,1 y 94,5 %, respectivamente; el testigo mostró un porcentaje de daño de 27,25 % y el químico de 1,25 %. Ninguno de los productos aplicados provocó daños al cultivo después de ser aplicados. Finalmente, se concluye que este biofungicida es una alternativa de control para usarse en el manejo integrado de la cenicilla en tomate.

Introducción

En México, durante el ciclo agrícola 2023-2024, se sembraron 24 501 ha de tomate, las cuales generaron una producción de 1 446 310 t, obteniéndose 59.09 t/ha. El estado de Sinaloa, con una superficie sembrada de 11 843.75 ha, con una producción de 712 013.13 y un rendimiento de 60.12 t/ha^{-1}, se ubica como el principal productor de esta hortaliza (SIAP, 2025). Las cenicillas son enfermedades causadas por hongos que infectan hojas, tallos, flores y frutos; la cenicilla del tomate y chile causada por Leveillula taurica

(Lev.) afecta a más de 700 hospedantes, destacando por su importancia el chile y tomate (Glawe, 2008). Esta enfermedad provoca lesiones que van de color verde descolorido a amarillento brillante en la parte superior de las hojas. Posteriormente, emergen las esporulaciones polvorientas en la parte inferior de las hojas. A medida que progresa, las lesiones se vuelven necróticas y la hoja muere; bajo condiciones de invernadero, las manchas blanquecinas en el haz y en el envés de las hojas son más notorias debido a la mayor densidad de estomas (Elad et al., 2007).

Doltsinis et al. (2006) evaluaron la efectividad de Milsana, un extracto vegetal a base de *Reynoutria sachalinensis*, el cual ha demostrado que es capaz de inducir resistencia contra cenicilla en el cultivo de pepino y determinar su comportamiento contra la cenicilla del tomate. En cuatro de los cinco ensayos probados se encontró que el extracto redujo desde un 42,2 hasta un 64,6 % la severidad de la enfermedad cuando se aplicó al follaje. Dayff et al. (1995) indicaron que en un trabajo realizado para determinar la efectividad del fungicida biológico a base de *Reynoutria sachalinensis* aplicado vía foliar al 2 % contra la cenicilla del pepino, este extracto fue tan eficaz como el fungicida Benomilo, usado en este caso como tratamiento químico contra la enfermedad. También señalan que, al aplicar el extracto botánico al follaje de la planta, esta observó una coloración más verdosa en las hojas y que, además, mostró diferencias en comparación con el testigo sin aplicación. Torres et al. (2025) evaluaron el efecto de extractos de sauce, cola de caballo y canela contra moho gris en tomate, al igual que se encontró que el extracto de cola de caballo redujo notablemente la incidencia y severidad de la enfermedad en un 38.0 y 34.0, respectivamente, con respecto al testigo químico aplicado. Adicionalmente, señalan que la altura de planta, diámetro del tallo y la producción se incrementaron con la aplicación de estos extractos en tomate.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Cruz de Elota, Sinaloa, en los terrenos de un agricultor cooperante. Se usó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones; se probaron tres diferentes dosis del fungicida orgánico a base de *Reynoutria sachalinensis* (Regalía Maxx 1.0, 1.25

y 1.50 L ha^{-1}), Myclobutanil (Rally 40 a dosis de 0.228 kg ha^{-1}) y un testigo no aplicado. Cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro surcos de 1.8 m de ancho y 6.0 m de largo. La parcela útil del experimento estuvo formada por los dos surcos centrales, excluyendo un metro al inicio y al final de cada surco. El total de aplicaciones a partir de la presencia de la enfermedad fueron cuatro, con un intervalo entre aplicación de siete días. El volumen total de agua usado fue de 400 L ha^{-1}, calibrándose de acuerdo al estado fenológico del cultivo para tener la cobertura necesaria para garantizar una buena aplicación de los productos.

Se registraron las condiciones meteorológicas prevalecientes y esta información se obtuvo de la estación meteorológica ubicada en la agrícola donde se realizó el estudio; las variables de respuesta fueron la severidad de la enfermedad, la efectividad de los productos y la fitotoxicidad que estos pudieran causar en tomate después de su aplicación. Para la severidad de la cenicilla, se inspeccionaron al azar 20 hojas de cada parcela útil y se estimó el porcentaje de follaje infectado de acuerdo con una escala visual arbitraria y, para su implementación, se estimó que porcentajes de infección superiores al 50 % en los tratamientos a evaluar indicaban que la enfermedad está fuera de control; para obtener el porcentaje de infección al follaje, se utilizó la escala de valores exactos de Townsend y Heuberger (1943); los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y, al existir diferencias entre tratamientos, se realizaron las comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey al 0,05 % (SAS, 2009). El porcentaje de efectividad de los productos se determinó mediante la ecuación de Abbott (1925) y la fitotoxicidad al cultivo se evaluó a los 3, 5 y 7 días después de aplicados los productos en tomate y se comparó con el testigo sin aplicación; para esta variable se empleó la escala de puntuación propuesta por el Sistema Europeo de Evaluación para Control de Malezas y Daño al Cultivo (EWRS).

Resultados y discusión

Para la variable severidad de la enfermedad, se realizó una evaluación previa antes de la aplicación de los tratamientos y cinco evaluaciones después de las aplicaciones. En el Cuadro 1 se observa que, al efectuar la quinta evaluación de los tratamientos aplicados contra cenicilla en tomate, se en-

contró que todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes con respecto al testigo y que la menor infección se registró donde se aplicó Regalía Maxx a dosis de 1.5 kg ha^{-1} y Rally 40 a dosis de 0.228 kg h^{a-1}, con un promedio de 1,50 de infección y 94,5 % de eficacia para ambos tratamientos. La dosis de 1.25 kg ha^{-1} presentó un promedio de severidad de la enfermedad de 3,25 % y una eficacia del 88,1 % en el control de la enfermedad. El tratamiento testigo mostró el promedio más alto de infección con 27,25 % (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con lo expuesto por Doltsinis et al. (2006) y Dayff et al. (1995), cuando señalan que el extracto de *Reynoutria sachalinensis* aplicado vía foliar controla satisfactoriamente la cenicilla del pepino.

Cuadro 1. *Comparación de medias del grado de infección y eficacia de los tratamientos en el control de Leveillula taurica causante de la cenicilla en tomate, después de realizada la quinta evaluación.*

Tratamiento	Dosis ha-1	% de infección	% de eficacia
1. Regalía Maxx	1.0	5.25 b*	80.7
2. Regalía Maxx	1.25	3.25 bc	88.1
3. Regalía Maxx	1.5	1.50 c	94.5
4. Rally 40	0.228	1.50 c	94.5
5. Testigo	-------	27.25 a	------

*Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey Alfa 0.05 %

Para la variable fitotoxicidad al cultivo, al efectuar los muestreos a los 3, 5 y 7 días después de aplicados los productos y compararse con el testigo, se encontró que ninguno de los tratamientos mostró fitotoxicidad al cultivo de acuerdo a la EWRS.

Finalmente, se puede concluir que, en base a los resultados obtenidos, se puede inferir que el extracto de Reynoutria sachalinensis es una alternativa viable para ser usada en los sistemas de manejo integrado de la cenicilla en tomate, y que las dosis de 1.25 y 1.50 L ha^{-1} resultaron como los mejores tratamientos para la reducción de la cenicilla en tomate.

Referencias

Daayf F., Schmitt A. y Bélanger R.R. (1995). *The effects of plant extracts of Reynoutria sachalinensis on powdery mildew development and leaf physiology of long English cucumber.* Plant Dis. 79, 577–580.

Doltsinis, S.K., Markellou, E., Kasselaki, A.M., Fanouraki, M.N., Koumaki, C.M., Schmitt, A., Tsakalidis, A.L. y Malathrakis, N.E. (2006). *Efficacy of Milsana®, a Formulated Plant Extract from Reynoutria sachalinensis, against Powdery Mildew of Tomato (Leveillula taurica).* Biocontrol 51, 375–392. https://doi.org/10.1007/s10526-005-5247-1.

Elad, Y., Messika, Y., Brand, M., David, D. and Sztejnberg, A. (2007). *Effect of microclimate on Leveillula taurica powdery mildew of sweet pepper.* Phytopathology. 97, 813-824.

Glawe, D. A. (2008). *The powdery mildews: A review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens.* Ann. Rev. Phytopathol. 46, 27-51.

SAS. (2009). *Statistical Analysis System Institute*, North Carolina USA v.9.2.

SIAP. (2025). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.* https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/. Accesada el 20 de septiembre de 2025.

Townsend, G. R. y Heuberger, J. W. (1943). *Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments.* The Plant Disease Reporter, 27, 340-343.

Capítulo **68**

Efecto combinado de extractos de algas marinas y ácidos fúlvicos sobre parámetros de calidad y crecimiento de uvas cabernet sauvignon (*Vitis vinifera* L.)

Verdugo Gaxiola Sara Elizabeth[1*]
Díaz Rubio Laura Janeth[1]
Montaño Soto Myriam Tatiana[1]
Córdova Guerrero Iván[1]

[1] Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, campus Tijuana, Universidad Autónoma de Baja California. *sara.verdugo@uabc.edu.mx.

Resumen

El cambio climático altera las etapas fenológicas de la vid (*Vitis vinifera* L.), lo que reduce el rendimiento y afecta la composición de la uva y la calidad del vino. Una alternativa para mitigar estos efectos es el uso de bioestimulantes agrícolas, productos que promueven la tolerancia al estrés abiótico y mejoran el desempeño productivo. Este estudio evalúa el efecto de extractos acuosos de las algas *Macrocystis pyrifera* y *Ulva ohnoi*, ácidos fúlvicos y sus combinaciones aplicadas de forma foliar en un viñedo comercial de *Cabernet Sauvignon* en el Valle de Guadalupe, Ensenada, Baja California. Se evaluaron siete tratamientos, incluyendo controles positivo y negativo, aplicados tres veces entre cuajado y envero bajo un diseño de bloques completamente al azar (cuatro bloques, tres plantas por bloque). Se midieron variables de crecimiento y calidad de baya durante envero y maduración. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los ácidos fúlvicos incrementaron el tamaño de baya hasta 15 % y su combinación con *M. pyrifera* hasta 24 % en envero, manteniendo aumentos de 16 % y 26 %, respectivamente, en maduración. El tratamiento con *M. pyrifera* promovió bayas 15 % más pesadas. No se observaron cambios significativos en Brix, pH ni peso fresco de racimos. Estos resultados evidencian que los bioestimulantes evaluados mejoran parámetros de crecimiento de la uva sin alterar su composición básica, constituyendo una herramienta prometedora para la adaptación vitícola al cambio climático.

Introducción

El cambio climático ha impactado de manera significativa el cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.), alterando la duración y sincronía de sus etapas fenológicas, lo que puede anticipar o retrasar eventos clave como brotación, floración y maduración. Estas modificaciones se traducen en reducciones

del rendimiento y en un deterioro de parámetros enológicos, afectando la composición química y la calidad final de los vinos (Arias et al., 2022).

Entre las estrategias para mitigar estos efectos destaca el uso de bioestimulantes agrícolas, productos que, sin ser fertilizantes ni aportar nutrientes esenciales, modulan el metabolismo vegetal, favorecen la tolerancia al estrés abiótico y pueden mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos (du Jardin, 2015; Monteiro et al., 2022).

Dentro de este grupo, los extractos de algas marinas pardas y las sustancias húmicas —como los ácidos fúlvicos— han mostrado resultados prometedores en viticultura. Aplicaciones foliares de sustancias húmicas en *Sauvignon Blanc* durante el envero aumentaron el contenido de nutrientes en hojas y bayas, mientras que extractos de algas pardas como *Ascophyllum nodosum* y *Ecklonia maxima* han promovido mayor rendimiento y acumulación de compuestos antioxidantes (antocianinas y polifenoles totales) en frutos (Bartkovský et al., 2024; Pessenti et al., 2022; Samuels et al., 2024).

En este contexto, el presente estudio evaluó el efecto bioestimulante de extractos acuosos de las algas pardas *Macrocystis pyrifera* y verdes *Ulva ohnoi*, así como de ácidos fúlvicos y sus combinaciones, aplicados de forma foliar en un viñedo comercial de *Cabernet Sauvignon* ubicado en el Valle de Guadalupe, Ensenada, Baja California, con el objetivo de determinar su impacto sobre el crecimiento y parámetros de calidad de la uva bajo condiciones de campo.

Materiales y métodos

Preparación de bioestimulantes agrícolas. Se elaboraron extractos acuosos de las algas marinas Macrocystis pyrifera y Ulva ohnoi mediante decocción a 80 ± 5 °C con agitación constante durante 30 min. El producto final utilizado para aplicación foliar se formuló con una concentración de 0,5 % de alga seca y se ajustó a un pH de 5.8 a 6.5 previo a su uso.

Tratamientos experimentales. Se evaluaron siete tratamientos aplicados de manera foliar, descritos en Tabla 1.

Sitio experimental y diseño. El ensayo se llevó a cabo en un viñedo comercial de 13 años de edad, cultivar Cabernet Sauvignon, ubicado en la localidad "El Porvenir", Ensenada, Baja California, México (32°07'23.2"N

y 116°32'25.2"W). Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro bloques por tratamiento y tres plantas por bloque.

Tabla 1. *Tratamientos foliares aplicados sobre Vitis vinifera cv. Cabernet Sauvignon.*

Etiqueta	Tratamiento	Características
C(-)	Control negativo	adherente 0,1 %, humectante 0,1 %, dispersante 0,05 %
C(+)	Control positivo	SeaWeed HP Plus®, aplicado siguiendo las recomendaciones del fabricante.
AF	Ácidos fúlvicos	Ácidos fúlvicos (0,1 %), aminoácidos (0,1 %) y coadyuvantes.
UO	Extracto de *Ulva ohnoi*	Extracto de *U. ohnoi,* aminoácidos (0,1 %) y coadyuvantes.
MP	Extracto de *Macrocystis pyrifera*	Extracto de *M. pyrifera*, aminoácidos (0,1 %) y coadyuvantes.
AF+UO	Ácidos fúlvicos + *U. ohnoi*	Extracto de *U. ohnoi*, ácidos fúlvicos (0,1 %), aminoácidos (0,1 %) y coadyuvantes.
AF+MP	Ácidos fúlvicos + *M. pyrifera*	Extracto de *M. pyrifera*, ácidos fúlvicos (0,1 %), aminoácidos (0,1 %) y coadyuvantes

Aplicación de tratamientos. Las soluciones se aplicaron de manera foliar con un aspersor manual de mochila, cubriendo uniformemente hojas y tronco. Se realizaron tres aplicaciones: una durante el cuajado y dos en la etapa de envero. La respuesta bioestimulante se evaluó después de la primera aplicación (inicio de envero) y tras la tercera aplicación (inicio de maduración).

Variables evaluadas. Durante el envero se midieron en bayas: diámetro polar y ecuatorial (mm), pH y Brix. Durante maduración, en fruto: peso fresco de racimos (g), peso fresco de baya (g), diámetros polar y ecuatorial de baya (mm), pH y Brix.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una y dos vías ($\alpha = 0.05$) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), aplicando un modelo lineal univariante. Los factores fijos fueron los tratamientos foliares y, cuando correspondió, los bloques experimentales. Cada variable de respuesta se evaluó de forma independiente utilizando el paquete estadístico SPSS PASW Statistics 18.

Resultados y discusión

Los tratamientos foliares aplicados a las vides promovieron un incremento significativo en el tamaño de las bayas, efecto que fue evidente desde la etapa fenológica de envero (Tabla 2). El tratamiento con ácidos fúlvicos incrementó el tamaño de las bayas en un 15 %, mientras que la aplicación combinada de ácidos fúlvicos + *Macrocystis pyrifera* produjo un aumento de 24 % respecto al control negativo (Tukey, $P \leq 0.05$). El control positivo también mostró un incremento del 17 % en la etapa de envero; sin embargo, este efecto no se mantuvo durante la maduración.

En la etapa de maduración (Tabla 3), el efecto de los tratamientos se mantuvo en algunos casos. Las vides tratadas con ácidos fúlvicos conservaron un aumento del 16 % en el peso fresco de las bayas, mientras que la combinación de ácidos fúlvicos + *M. pyrifera* alcanzó un incremento del 26 % respecto al control negativo. De igual manera, el tratamiento con *M. pyrifera* por sí solo generó bayas 15 % más pesadas que el control negativo durante esta etapa.

En cuanto a los parámetros de calidad enológica (°Brix y pH), los tratamientos foliares no mostraron efectos significativos. Las bayas presentaron un contenido de sólidos solubles de 17 °Brix en envero y 20 °Brix en maduración, con valores de pH de 3.0 y 3.3, respectivamente.

El análisis de varianza (ANOVA, $P < 0.05$) indicó que la aplicación de tratamientos foliares no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el peso fresco de racimos, probablemente debido a la alta variabilidad asociada al número limitado de muestras por tratamiento. No obstante, de manera descriptiva, los racimos tratados con ácidos fúlvicos y con la combinación ácidos fúlvicos + *M. pyrifera* mostraron pesos frescos superiores en 63 % y 29 %, respectivamente, en comparación con el control negativo.

Tabla 2. *Efecto de los tratamientos foliares sobre variedad Cabernet Sauvignon durante el envero*

Tratamiento	Diámetro polar (mm±SD)	Diámetro ecuatorial (mm ±SD)	volumen (mm^3±SD)	°Brix	pH
C(-)	11.67±0.86ab	11.35±0.78a	1593±315a	16.85±0.82	2.925±0.12
C(+)	12.25±0.92c	11.98±1.05b	1877±444b	17±0.63	3±0.16
AF	12.03±0.91bc	11.97±0.94b	1835±400b	16.55±0.94	2.95±0.05

Tratamiento	Diámetro polar (mm±SD)	Diámetro ecuatorial (mm ±SD)	volumen (mm^3±SD)	ºBrix	pH
UO	11.49±0.88a	11.43±0.97a	1599±370a	17.2±1.36	2.95±0.1
MP	11.46±1.14a	11.37±1.16a	1597±470a	17.8±0.75	3±0.14
AF+UO	11.48±0.89a	11.39±0.9a	1583±351a	16.35±0.81	3±0.08
AF+MP	12.37±0.87c	12.25±1.01b	1979±447b	17.25±0.6	3.05±0.05

Los valores representan la media ±DE de las mediciones. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey (α=0.05).

Tabla 3. *Efecto de los tratamientos foliares sobre la variedad Cabernet Sauvignon durante la etapa de maduración.*

Tratamiento	Peso fresco racimos (g)	Peso fresco baya (g)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	ºBrix	pH
C(-)	140.7±35.2	1.03+0.21a	11.5±0.98a	11.5+0.88a	19.2±0.8	3.32+0.05
C(+)	180.6±67.5	1.04+0.23a	11.4±0.96a	11.5+0.99a	19±0.8	3.25+0.05
AF	230.5±119.9	1.2+0.25b	12.2±0.79b	12.3+0.87b	19.4±1.7	3.32+0.05
UO	171.5±52.7	1.03+0.22a	11.7±0.91a	11.6+0.96a	19.2±1.8	3.27+0.04
MP	174.6±29.7	1.19+0.8b	11.7±1.91a	11.7+1.18a	20±1.6	3.3+0
AF+UO	152.6±36.6	1.02+0.22a	11.5±0.84a	11.5+0.89a	18.9±1.7	3.32+0.09
AF+MP	182.1±45.6	1.3+0.22b	12.5±0.76b	12.5+0.85b	19.8±0.9	3.32+0.05

Los valores representan la media ±DE de las mediciones. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey (α=0.05)

Conclusiones

La aplicación foliar de ácidos fúlvicos y del alga parda Macrocystis pyrifera durante las etapas fenológicas de floración y envero favoreció un incremento significativo en el tamaño y peso de las bayas de Vitis vinifera cv. Cabernet Sauvignon, sin afectar de manera negativa los parámetros básicos de calidad enológica (Brix y pH). Además, la combinación de ácidos fúlvicos con extractos de M. pyrifera mostró un efecto sinérgico, potenciando el crecimiento de las bayas en comparación con la aplicación individual de cada bioestimulante.

Estos resultados evidencian el potencial de formular bioestimulantes combinados como una herramienta agronómica para mejorar el rendimiento y mantener la calidad de la uva en condiciones de campo, contribuyendo a la adaptación del cultivo de vid a los efectos del cambio climático.

Referencias

Arias, L. A., Berli, F., Fontana, A., Bottini, R., y Piccoli, P. (2022). *Climate Change Effects on Grapevine Physiology and Biochemistry: Benefits and Challenges of High Altitude as an Adaptation Strategy.* In Frontiers in Plant Science. 13. Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.835425

Bartkovský, M., Semjon, B., Regecová, I., Baričičová, V., Očenáš, P., Šuľáková, L., y Marcinčák, S. (2024). *The Effect of a Leaf Fertilization Method Using Humic Acids on the Minerality and Chemical Composition of Sauvignon Blanc Wine from the Slovak Wine Region.* Fermentation, 10(12). https://doi.org/10.3390/fermentation10120651

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

Monteiro, E., Gonçalves, B., Cortez, I., y Castro, I. (2022). *The Role of Biostimulants as Alleviators of Biotic and Abiotic Stresses in Grapevine: A Review.* In Plants, 11(3). MDPI. https://doi.org/10.3390/plants11030396

Pessenti, I. L., Ayub, R. A., Filho, J. L. M., Clasen, F. C., Rombaldi, C. V., y Botelho, R. V. (2022). *Influence of abscisic acid, Ascophyllum nodosum and Aloe vera on the phenolic composition and color of grape berry and wine of "Cabernet Sauvignon" variety.* Ciencia e Tecnica Vitivinicola, 37(1), 1–12. https://doi.org/10.1051/ctv/ctv202237011

Samuels, L. J., Papageorgiou, A. E., Setati, M. E., y Blancquaert, E. H. (2024). *Effects of Ecklonia maxima seaweed extract on the fruit, wine—quality and microbiota in Vitis vinifera L. cv. Cabernet Sauvignon.* South African Journal of Botany, 172, 647–662. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.07.051

Capítulo **69**

Uso de estimulantes de propagación vegetativa de pitahaya (*Hylocereus undatus*)

Higuera Márquez, José Isidro[1*]
Lucero Vega Gregorio[1]
Monroy Ceseña Marco Antonio[1]
Ruíz Espinoza Francisco Higinio[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km. 5.5., C.P 23085, La Paz, Baja California Sur, México..* jhiguer2_22@alu.uabcs.mx.

Resumen

La pitahaya (Hylocereus undatus) es una fruta exótica de alto valor comercial y nutricional, cuyo cultivo se adapta a climas cálidos. En esta investigación se evalúa el efecto de enraizadores y Trichoderma sp. en el enraizamiento y desarrollo radicular de esquejes de pitahaya bajo diferentes condiciones de luz. Se utilizaron cladodios (esquejes) de 20 cm con 2 cm de tallo descubierto, colocados en sustrato (mezcla de arena y peat moss), distribuidos en cuatro tratamientos: trichoderma más enraizador en malla con 50 % de sombreo (TEMS), trichoderma más enraizador en sombra (TES), enraizador en malla con 50 % de sombreo (EMS), enraizador en sombra (ES). Después de 30 días, se evaluaron tres variables: porcentaje de enraizamiento, número de raíces y longitud de la raíz más larga. El ANOVA solo mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) en la variable número de raíces. El tratamiento (ES) obtuvo el mayor porcentaje de prendimiento (91 %), mientras que el tratamiento (TEMS) generó más raíces, aunque con menor prendimiento (75 %). Se concluye que el uso de enraizador bajo sombra total favorece el prendimiento, mientras que el uso de Trichoderma más enraizador en un ambiente con sombreo al 50 % estimula más el desarrollo radicular.

Introducción

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una fruta exótica perteneciente a la familia de las cactáceas, reconocida por su atractivo colorido, sabor dulce y alto valor nutricional. Su cultivo se adapta bien a climas cálidos y suelos bien drenados, y puede desarrollarse desde el nivel del mar hasta altitudes de 1850 metros. Existen diversas variedades, entre ellas la pitahaya roja de pulpa blanca, la roja de pulpa roja y la amarilla, cada una con características particulares que la hacen atractiva para diferentes mercados. Según Cedeño (2023), la pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) muestra una respuesta significativa al uso de bioestimulantes en vivero, lo que permite mejorar variables como número de brotes, raíces y masa radicular. Por lo anterior, en esta investigación se utilizaron es-

timulantes con enraizadores y *Trichoderma* sp. para tener el mayor incremento en la masa radicular. La arena puede ser utilizada como sustrato por su fácil desinfección y buena estabilidad (Pire y Pereira, 2003). La presente investigación tiene como objetivo evaluar nuevas técnicas de propagación vegetativa de pitahaya, incluyendo el uso de estimulantes y enraizadores.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en las instalaciones de la UABCS, en la ciudad de La Paz, BCS, en la cual se utilizó material vegetativo (cladodios) de plantas de pitahaya que se encontraban sanas. Para esto, se cortaron fracciones de cladodios (esquejes de 20 cm de longitud) para los diferentes tratamientos. Los cortes se realizaron con tijeras de mango largo, desinfectadas con alcohol de 96° y una servilleta de papel. A cada esqueje se le descubrió 2 cm de tallo (Figura 1). Para ello se utilizó una navaja previamente desinfectada con alcohol. Una vez que estaban listos, se dejaron por dos días a la sombra para cicatrizar la zona del corte. Posteriormente, se aplicaron los tratamientos y se colocaron en vasos de plástico de 473 ml, con perforaciones en el fondo, los cuales fueron rellenados con un sustrato (50 % arena y 50 % *peat moss*). Para todos los tratamientos (Figura 2), se colocó un sistema de soporte con alambre galvanizado calibre 10, solo para sostenerlos, ya que en el sustrato solo se introdujo 2 cm de tallo previamente descubierto. Los tratamientos: *Trichoderma* sp. (5X109 conidio/g) y el enraizador "Raizone plus" (Alfanaftilacetamida al 0,12 % y Ácido indol-3 butírico al 0,06 %) se mezclaron con agua destilada 5 ml/g, se diluyeron en recipientes de 300 ml; posteriormente, se aplicaron con brocha solo en el tallo descubierto y en la parte baja del esqueje. Después de aplicar los tratamientos, los mismos que se hicieron por duplicado (enraizador y la mezcla de enraizador más *Trichoderma* sp.), la primera parte de los tratamientos se dejó a la sombra por 30 días; la otra parte se dejó por el mismo periodo de tiempo en una malla sombra del 50 % de sombreo. De esta forma se obtuvieron cuatro tratamientos. Pasado este tiempo, los esquejes con cepellón se sacaron de los recipientes, se lavó el sustrato con agua a presión y se evaluó el sistema radicular; cabe mencionar que durante el tiempo de enraizamiento el sustrato de los recipientes se mantuvo húmedo con riegos frecuentes.

El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos y seis repeticiones, cada repetición estuvo conformada por dos cladodios.

Descripción de tratamientos:

1. *Trichoderma* sp. más enraizador en malla con 50 % de sombreo (TEMS)
2. *Trichoderma* sp. más enraizador en sombra (TES).
3. Enraizador en malla con 50 % de sombreo (EMS).
4. Enraizador en sombra (ES).

Variables evaluadas: 1) Porcentaje de enraizamiento (esquejes que emitieron raíces), 2) número de raíces y 3) longitud de la raíz más grande.

Procesamiento de datos, los resultados de las variables: Número de raíces y longitud de la raíz más grande, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con la hoja de cálculo Excel y comparación de medias con la prueba de diferencia mínima significativa (MDS) con el paquete estadístico versión 1.0 de la FAUANL elaborado por Olivares (2012). Considerando un nivel de significación de 95 % ($P < 0.05$).

Resultados y discusión

En la variable porcentaje de enraizamiento (Cuadro 1), el tratamiento con mejores resultados fue ES (enraizador en sombra), con 91 % de prendimiento. El tratamiento EMS (enraizador en malla sombra) con un 83 % de enraizamiento fue uno de los aceptables y los tratamientos en los cuales se obtuvo el menor prendimiento (75 %) fueron TEMS (*Trichoderma* sp. con enraizador en malla sombra) y TES (*Trichoderma* en sombra).

Cuadro 1. *Porcentaje de prendimiento.*

Tratamiento	% de prendimiento
TEMS	75 %
EMS	83 %
TES	75 %
ES	91 %

Se realizaron análisis de varianza en el programa Excel, obteniendo los resultados que se expresan en el Cuadro 2; solo en la variable número de raíces hubo diferencia significativa.

Cuadro 2. *Resultados del análisis estadístico ANOVA con el programa Excel..*

Variable	Media TEMS	Media EMS	Media TES	Media ES	"F" Calculada	Valor critico de "F"(p=0.05)	Significación
Longitud de raíz en cm	12,3	12,6	15,6	20,5	2,959	3,098	NS
Números de raíces	9,1	8,5	4,7	4,6	4,002	3,098	* (p<0-05)

Comparación de medias de la variable número de raíces: En el Cuadro 3 se muestran los resultados de la prueba de DMS ($p \leq 0.05$); los tratamientos TEMS y EMS fueron estadísticamente iguales y superiores a los tratamientos TES y ES.

Cuadro 3. *Comparación de medias de la variable grados número de raíces.*

Tratamientos	Media	α= 0.05
TEMS	9.16	a
EMS	8.58	a
TES	4.75	b
ES	4.66	b

Trichoderma más enraizador en malla con 50 % de sombreo (TEMS), trichoderma más eenraizador en sombra (TES), enraizador en malla con 50 % de sombreo (EMS), enraizador en sombra (ES).

El tratamiento ES presentó el mayor porcentaje de prendimiento (91 %), lo que indica que las condiciones de sombra favorecen el enraizamiento, tal como lo señalan García et al. (2024). También Lone et al. (2018) demostraron que

el sombreado parcial (entre el 23 y el 42 %) aumenta el porcentaje de prendimiento y generación de nuevos brotes en comparación con pleno sol. Por otra parte, se pudo observar que TEM tuvo un menor prendimiento (75 %), pero generó más raíces, resultado respaldado por Sedamanos et al. (2022), quienes destacan el efecto estimulante de *Trichoderma* sp. en el desarrollo radicular.

Conclusiones

Después de realizar y evaluar diferentes métodos de propagación vegetativa de la pitahaya utilizando cladodios (esquejes), se puede concluir que se obtiene mayor porcentaje de prendimiento (emisión de raíces) si se usa enraizador comercial y sombreo total. En relación con el número de raíces, es evidente que es mejor el uso de Trichoderma sp. más enraizador en un ambiente con sombreo al 50 % que el sombreo total.

Referencias

Sedamanos, J. A. C., Guerrero, J. N. Q., Guncay, I. G. T., y Carrillo, J. E. C. (2022). *Trichoderma spp: Propagación, dosificación y aplicación en el cultivo de maíz (Zea mays L.)*. Revista Ciencia y Agricultura, 19(3), 32-44.

Cedeño Acuña, L. A. (2023). *Respuesta de las varetas de Pitahaya (Hylocereus undatus) a tres bioestimulantes y tres dosis a nivel de vivero (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum)*. Ecuador.

Olivares, E. 2012. *Diseños Experimentales*. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo N. L. Versión 1.0 en disco compacto.

Pire, R., y Pereira, A. (2003). *Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela*. Propuesta metodológica. Bioagro, 15(1), 55-64.

García Arauz, A. J., y Castellon Miranda, K. O. (2024). *Efecto de enraizadores y sustratos en esquejes para la producción de plantas de café (Coffea arábiga), Matagalpa*, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/22064

Lone, A. B., Colombo, R. C., da Silva, C. M., Inagati, A. T., y Roberto, S. R. (2018). *Shading levels in the development of dragon fruit (pitaya) nurseries*. Agronomy Science and Biotechnology, 4(1), 8-8.

Capítulo **70**

Bioestimulación en el crecimiento de plántula de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

Mena Adriano Jesús Omar[1]
López Valenzuela Blanca Elvira[1*]
Romero Félix Celia Selene[1]
Beltrán Félix Jesús Alejandro[1]
Buelna Tarín Salomón[1]
López Bautista Everardo[1]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Universidad Autónoma de Sinaloa, Calle 16 y avenida Japaraqui Juan José Ríos, Sinaloa C.P.81110. *blancalopezvzla@favf.mx.

Resumen

El uso de bioestimulantes tiene un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El objetivo de este trabajo fue estudiar cómo la bioestimulación con microorganismos benéficos afecta el crecimiento de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Este trabajo se llevó a cabo en la localidad de El Estero, Juan José Ríos, Sinaloa, en un invernadero de producción de plántula de hortalizas. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar de ocho tratamientos a base de tres microorganismos promotores del crecimiento vegetal y dos dosis: *Glomus intraradices* (GI; 3 g L^{-1} y 5 g L^{-1}), *Trichoderma harzianum* (TH; 2 g L^{-1} y 4 g L^{-1}) y *Bacillus subtilis* (BS; 6 mL L^{-1} y 8 mL L^{-1}), un consorcio de GI (3 g L^{-1}) + TH (2 g L^{-1}) + BS (6 mL L^{-1}) y un testigo, en cuatro repeticiones. Se evaluó la altura de planta (AP, cm) y diámetro de tallo (DT, mm). El análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, a los 32 DDS en la variable altura de planta (AP) y para diámetro de tallo (DT) a los 43 DDS. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) para la AP los 43 DDS y DT a los 32 DDS. El tratamiento a base de *Trichoderma harzianum* a dosis de 4 g L^{-1} destacó por estimular mayor crecimiento en altura de planta. Mientras que el diámetro de tallo fue comparable con todos los microorganismos y dosis evaluadas, siendo superiores al testigo.

Introducción

El chile es de las hortalizas de mayor importancia económica en México, ya que aporta el 20,2 % en la producción a nivel nacional. En 2024, México tuvo una producción de 3 238 244.81 toneladas de chile (SIAP, 2024). A nivel estatal, Sinaloa fue el mayor productor de chile, llegando a producir el 23,4 % de la producción, seguido de Chihuahua (21 %), Zacatecas (13,9 %), San Luis Potosí (9,9 %) y Sonora (5,94 %). Estos cinco estados concentraron el 74,2 % de la producción nacional (SIAP, 2024). La época de mayor

producción en México se da en el ciclo de otoño-invierno, debido al elevado rendimiento, alta calidad del fruto y elevados precios que alcanza este durante tal época, por lo cual la actividad productiva de plántula debe llevarse a cabo en invernaderos por los factores abióticos, como temperaturas extremas, que limitan el establecimiento del cultivo y su producción a campo abierto en gran parte del país (Moreno-Pérez et al., 2011). Una de las alternativas para hacer frente a estos factores es la utilización de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, lo cual ha demostrado ser una estrategia eficaz y sostenible para mejorar el crecimiento, la calidad y la resistencia de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) y otros cultivos hortícolas (El-Saadony et al., 2022). Estos microorganismos benéficos tienen la función de estimular procesos biológicos de las plantas, mejorando la absorción y eficiencia de nutrientes, calidad del cultivo, la tolerancia al estrés abiótico y, sobre todo, aumentar el rendimiento y el vigor de la planta, asegurando que estas sean más resistentes a plagas y enfermedades al mejorar su adaptación a un clima cada vez más cambiante (Aveiga-Conde et al., 2022). Por estos motivos, el objetivo de esta investigación fue estudiar cómo la bioestimulación con microorganismos benéficos afecta la producción de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó durante el ciclo agrícola 2024, en un invernadero de producción de plántula. Se sembró la variedad de chile jalapeño Baluarte el 20 de septiembre de 2024 en charolas de germinación de 308 cavidades. Se utilizaron tres bioestimulantes a base de microorganismos en dos dosis cada uno: *Glomus intraradices* (GI; 3 g L^{-1} y 5 g L^{-1}), T*richoderma harzianum* (TH; 2 g L^{-1} y 4 g L^{-1}) y *Bacillus subtilis* (BS; 6 mL L^{-1} y 8 mL L^{-1}), y un consorcio de GI (3 g L^{-1}) + TH (2 g L^{-1}) + BS (6 mL L^{-1}) y un testigo sin bioestimulante, siendo en total ocho tratamientos en cuatro repeticiones y unidad experimental de 10 plantas por repetición, bajo un diseño en bloques completos al azar. La primera aplicación de los bioestimulantes se llevó a cabo a los 25 días después de la siembra (DDS) mediante aplicación asperjada en las charolas con la ayuda de un atomizador, asegurando aplicar 500 mL de la solución por tratamiento. A los 39 DDS se realizó la

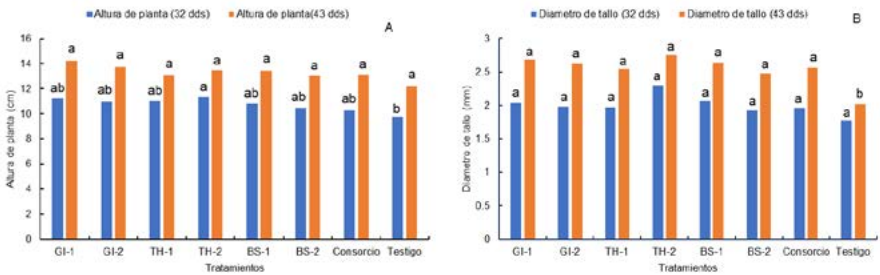
segunda aplicación de los bioestimulantes. Se evaluó la altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT), a los 32 y 43 DDS. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico InfoStat® versión 2020.

Resultados y discusión

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para la altura de planta a los 32 DDS y diámetro de tallo a los 43 DDS. Mientras que no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) para la altura de planta a los 43 DDS y diámetro de tallo a los 32 DDS (datos no presentados). La altura de planta fue mayor con el tratamiento a base de *Trichoderma harzianum* con la dosis de 4 g L^{-1} (TH-2) (Figura 1A). Sin embargo, fue similar al resto de los tratamientos, excepto el testigo, el cual presentó menor altura de planta. Del mismo modo, Lairos-Lairos et al. (2019) también determinaron un incremento en el crecimiento en la altura de las plántulas del pimiento al utilizar *Trichoderma* spp. como bioestimulante, con lo cual produjeron plántulas de mejor calidad con respecto al testigo. Santana et al. (2016) mencionan que *Trichoderma* spp. estimula el crecimiento y desarrollo de la plántula por medio de la producción de moléculas promotoras del crecimiento vegetal.

El diámetro de tallo a los 32 DDS fue similar con todos los tratamientos, aunque el tratamiento con *Trichoderma harzianum* con la dosis de 4 g L^{-1} (TH-2) tuvo tendencia a incrementar comparado con el resto de tratamientos (Figura 1B). A los 43 DDS, todos los tratamientos tuvieron un efecto similar en el diámetro de tallo, siendo mayores con respecto al testigo (Figura 1B). Parra-Cota et al. (2018) mencionan que la aplicación de biofertilizantes a base de microorganismos tiene efectos benéficos sobre la calidad de las plantas, logrando promover el desarrollo de las mismas e incrementar el diámetro del tallo de los cultivos. Además, Pedraza et al. (2010) demostró que el uso de microrganismos benéficos aumentó el diámetro de tallo en plántulas de tomate en las variedades Amalia, Rilia y Seen-2.

Figura 1. A: Altura de plántulas a los 32 y 43 DDS; B: Diámetro de tallo a los 32 y 43 DDS de plántulas de chile jalapeño tratadas con diferentes microorganismos y dosis: GI-1: Glomus intraradices (3 g L^{-1}), GI-2: Glomus intraradices (5 g L^{-1}), TH-1: Trichoderma harzianum (2 g L^{-1}), TH-2: Trichoderma harzianum (4 g L^{-1}), BS-1: Bacillus subtilis (6 L^{-1}), BS-2: Bacillus subtilis (8 mL L^{-1}), y un consorcio de GI-1 (3 g L^{-1}) + TH-1 (2 g L^{-1}) + BS-1 (6 mL L^{-1}) y testigo.



Conclusiones

El tratamiento a base de Trichoderma harzianum a dosis de 4g L^{-1} destacó por estimular mayor crecimiento en altura de planta. Mientras que el diámetro de tallo fue comparable con todos los microorganismos y dosis evaluadas, siendo superiores al testigo.

Referencias

Aveiga-Conde, K. R. (2022). *Efecto de la fertilización con bioles en diferentes sustratos sobre el crecimiento de mangle nato (Mora oleifera)* [Tesis de doctorado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas]. Repositorio Institucional PUCE.

Moreno-Pérez, E., Mora Aguilar, R., Sánchez del Castillo, F., y García-Pérez, V. (2011). *Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (Capsicum annuum L.) cultivados en hidroponía.* Revista Chapingo. Serie horticultura, 17(SPE2), 5-18.

El-Saadony, M., Saad, A., Soliman, S., Salem, H., Ahmed, A., Mahmood, M., El-Tahan, A., Ebrahim, A., El-Mageed, T., Negm, S., Selim, S., Babalghith, A., Elrys, A., El-Tarabily, K., y AbuQamar, S. (2022). *Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanis-*

ms, challenges and future perspectives. Frontiers in Plant Science, 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923880.

Larios-Larios, EJ, Valdovinos Nava, JDJW, Chan Cupul, W., García López, FA, Manzo Sánchez, G., y Buenrostro Nava, MT (2019). *Biocontrol de Damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de Capsicum chinense (Jacq) con Trichoderma spp.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(3), 471-483.

Santana-Baños, Y., del Busto Concepción, A., González Fuentes, Y., Aguiar González, I., Carrodeguas Díaz, S., Páez Fernández, P. L., y Díaz Lugo, G. (2016). *Efecto de Trichoderma harzianum Rifai y FitoMas-E® como bioestimulantes de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate.* Centro Agrícola, 43(3), 5-12.

SIAP. 2020. Producción anual agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. 2019. *Panorama Agroalimentario 2019.* Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 214.

Parra-Cota, F. I., Coronel-Acosta, C. B., Amézquita-Avilés, C. F., Santos-Villalobos, S. D. L., y Escalante-Martínez, D. I. (2018). *Diversidad metabólica de microorganismos edáficos asociados al cultivo de maíz en el Valle del Yaqui, Sonora.* Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(2), 431-442.

Pedraza-R. O., Teixeira, K. R., Scavino, A. F., de Salamone, I. G., Baca, B. E., Azcón, R., ... y Bonilla, R. (2010). *Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos.* Revisión. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 11(2), 155-164.

Capítulo **71**

Evaluación de rendimiento de chile mini bell pepper (*Capsicum annuum* L.) a campo abierto en la zona de San Quintín, Baja California

Guerrero Flores Luis Alonso[1]
Iribe Herrera Mariela Yudith[1]
Bazante González Isidro[1]
Mendoza Gómez Aurelia[1]
Suarez Hernández Ángel Manuel[1]

[1] Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, carretera transpeninsular km 180.2, Ejido Padre Kino, San Quintín, Baja California, C.P. 22925. *luis.guerrero33@uabc.edu.mx.

Resumen

El cultivo de chile mini bell pepper es uno de los más importantes del mundo por sus múltiples usos en distintas áreas, su reconocimiento y demanda internacional. El objetivo es evaluar el rendimiento del cultivo de chile mini bell pepper en el Valle de San Quintín, Baja California, para implementarlo en los sistemas productivos del valle y maximizar los beneficios que ofrece un cultivo de alto valor como el mini bell pepper. La unidad experimental se llevó a cabo en Ejido Padre Kino, San Quintín, Baja California, a campo abierto entre marzo y julio del año 2025. Los resultados obtenidos durante cuatro cosechas fueron un promedio de 360.6 gramos de chile por planta, lo que en rendimiento por hectárea es de 10 219.9 kilos. Por otro lado, el número de frutos por planta fue de 119.8.

Introducción

El chile dulce (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo; su fruto se destaca por un alto valor nutritivo y multiplicidad de usos, por ejemplo, en productos industriales, congelados, pastas, deshidratados, salsas y consumo en fresco (Samaniego, 2006). México se ha ubicado en los últimos años como el principal país exportador de pimientos frescos con una participación mundial del 29 por ciento y con Estados Unidos, Canadá y Reino Unido como principales destinos (De Agricultura y Desarrollo Rural, s. f.).

Por ende, el objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento del cultivo de chile mini bell pepper en el Valle de San Quintín, Baja California. Busca estudiar y analizar la implementación de nuevos cultivos en San Quintín, ya que es una de las zonas hortofrutícolas más productivas de Baja California. Al implementar cultivos de mayor valor por superficie, como los chiles mini bell pepper, se pueden generar beneficios como el incremento de empleos, diversificar los ingresos y generar ventanas de exportación.

Materiales y métodos

La evaluación se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Ejido Padre Kino, San Quintín, Baja California, con coordenadas 30°39'02" Latitud Norte y 115°57'55" Longitud Oeste, donde se efectuó entre marzo y julio 2025. La unidad experimental consistió en un marco de plantación de 30 cm entre plantas y 1.4 metros entre camas, obteniendo una densidad de siembra de 23 807 plantas por hectárea. El cultivo se estableció a campo abierto, donde el suelo del sitio del experimento está clasificado como arenoso; se implementaron camas con acolchado, un sistema de riego localizado por goteo y un sistema de tutorado con estacones para el manejo del cultivo.

Durante la evaluación se realizaron cuatro cosechas de frutos de chile mini bell pepper, iniciando el primer corte a los 98 días después de trasplante. El primer corte se llevó a cabo el día 3 de julio del 2025. Las tablas y gráficas del comportamiento de cada variable en las diferentes cosechas tienen como fin ver la variación de los rendimientos conforme va avanzando el crecimiento de la planta.

Resultados y discusión

Durante la evaluación se realizaron cuatro cosechas de frutos de chile mini bell pepper, iniciando el primer corte a los 98 días después de trasplante. El primer corte se llevó a cabo el día 3 de julio del 2025. Las tablas y gráficas del comportamiento de cada variable en las diferentes cosechas tienen como fin ver la variación de los rendimientos conforme va avanzando el crecimiento de la planta.

El rendimiento de este cultivo oscila en un promedio de 7 kg/m² bajo condiciones de invernadero (Intagri, s. f.). Bajo condiciones de invernadero, este cultivo puede llegar a producir hasta 9 kg/m² (Ahern Agri, 2020). Con ello podemos deducir que los resultados obtenidos en nuestra investigación fueron satisfactorios, debido a que San Quintín presenta un clima muy variable y no muy favorable para el tipo de cultivo establecido. Al colocar el cultivo a campo abierto, nos enfrentamos a muchos factores climáticos perjudiciales y aun así las plantas mostraron un comportamien-

to de producción muy bueno. Las cantidades de fruta obtenidas fueron aumentando conforme iban madurando las plantas, como se muestra en las (Gráficas 2 y 3). Por lo que el cultivo es potencial para incrementar y mantener la cantidad y peso de fruta obtenida conforme va creciendo fisiológicamente. Esto nos asegura poder tener cosecha durante un periodo más largo, obteniendo así más cantidad de producción en el ciclo del cultivo si se lleva un manejo agronómico correcto del mismo.

Cuadro 1. *Primer corte, 03 de julio 2025.*

Variable	**Resultado**
Rendimiento / planta	31.4 gramos
Rendimiento / hectárea	891.1 kilos
Frutos / Planta	10.6 frutos

Cuadro 2. *Segundo corte, 11 de julio 2025.*

Variable	**Resultado**
Rendimiento / planta	86.7 gramos
Rendimiento / hectárea	2,457 kilos
Frutos / Planta	31.5 frutos

Cuadro 3. *Tercer corte, 17 de julio 2025.*

Variable	**Resultado**
Rendimiento / planta	118.2 gramos
Rendimiento / hectárea	3,349.4 kilos
Frutos / Planta	37.9 frutos

Cuadro 4. *Cuarto corte, 23 de julio 2025.*

Variable	**Resultado**
Rendimiento / planta	124.3 gramos
Rendimiento / hectárea	3,522.4 kilos
Frutos / Planta	39.8 frutos

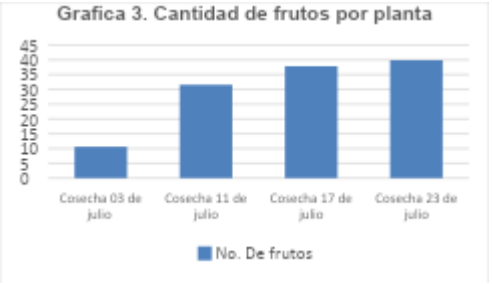
Cuadro 5. *Promedio total del cultivo.*

Variable	**Resultado**
Rendimiento / planta	360.6 gramos
Rendimiento / hectárea	10,219.9 kilos
Frutos / Planta	119.8 frutos

Gráfica 1. *Rendimiento por planta.*

Gráfica 2. *Rendimiento por hectárea.*

Gráfica 3. *Cantidad de frutos por planta.*



Conclusiones

La evaluación realizada cumplió con todas nuestras expectativas debido a que los rendimientos obtenidos de chile mini bell pepper fueron muy satisfactorios, logrando obtener rendimientos de 1.02 kg/m² en tan solo cuatro cortes, que equivalen a alrededor de un mes de cosecha. Solo abarcó este corto tiempo debido a tiempos y recursos de la universidad, pero cabe recalcar que el cultivo se puede mantener durante más tiempo con los manejos agronómicos adecuados. Comparando nuestros resultados con los de la literatura consultada, nos damos cuenta de que este cultivo sí se puede producir en esta zona y obtener buenos rendimientos, más aún cuando se tiene mayor infraestructura y se lleva un manejo durante todos los meses que el cultivo resista, ya que nuestra evaluación estuvo un poco restringida en esos aspectos. Al llevarlo a producción, agregaría el uso de microtúneles para las etapas tempranas del cultivo, ya que la zona cuenta con aires fuertes y bajas temperaturas, las cuales hicieron más lento el desarrollo fisiológico de la planta, lo que aumentó aún más las producciones y evitó problemas de estrés en el cultivo.

Referencias

Ahern Agri. (28 de febrero de 2020). *Mini Bell Peppers - AH1290, AH1440, AH1450- Ahern Seeds* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=mPjTy1Ypp24

De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (s. f.). *México, principal exportador mundial de pimientos frescos*: Agricultura. gob.mx. https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal-exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura

Intagri S.C. (s. f.). *Producción de pimientos mini, una nueva alternativa de negocio.* https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/produccion-de-pimiento-mini-alternativa-de-negocio

Samaniego Sánchez, R. D. (2006). *Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (Capsicum annum) bajo invernadero sobre el componente planta-suelo en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4225

Capítulo 72

Optimización de la programación de riego en cultivo de algodón por calibración local de sensores TDR, Valle de Mexicali, Baja California, México

Armendáriz Bejarano Jorge Francisco[1]
Rodríguez Burgueño Jesús Eliana[2]
Molina Saldívar Héctor Iván[2]
Juan Gabriel Brígido Morales[3]
Valenzuela Sarabia Marco Romario[2]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. armendariz.jorge@uabc.edu.mx.
[2] Instituto de Ingeniería de la UABC.
[3] Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC.

Resumen

La creciente reducción en la disponibilidad de agua del río Colorado ha generado la necesidad de adoptar prácticas de manejo que reduzcan el uso de agua en los cultivos del Valle de Mexicali, donde el algodón representa el principal cultivo en el ciclo primavera-verano. El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de sensores portátiles de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) para el monitoreo de la humedad del suelo y su aplicación en la programación del riego. El estudio se llevó a cabo en el Ejido Morelia, en un suelo franco limoso, con la variedad de algodón DP1845 bajo riego por gravedad. Se realizaron lecturas de TDR-350 y se validaron con el método gravimétrico, generando una curva de calibración específica para las condiciones locales. Los resultados mostraron una relación lineal altamente significativa entre las lecturas del sensor y el contenido volumétrico de humedad ($R^2 = 0.89$). Como ejemplo de aplicación, en la etapa fenológica de "cabeza de alfiler" se determinó un intervalo de cinco días para el siguiente riego. Estos hallazgos demuestran que la calibración local de sensores TDR es una metodología práctica y precisa para optimizar el uso del agua en algodón, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola de la región.

Introducción

La cuenca del río Colorado enfrenta la sequía más prolongada de los últimos 144 años, con reducciones históricas en la asignación de agua a México: 90 hm^3 en 2022, 128 hm^3 en 2023 y 90 hm^3 en 2024. Adicionalmente, el Acta 330 estableció una disminución acumulada de 493 hm^3 entre 2024 y 2026 (CILA, 2024). Estas restricciones impactan directamente a la agricultura de Baja California y Sonora, donde se ha ajustado la dotación de agua a los módulos de riego.

En el Valle de Mexicali, el algodón es de los principales cultivos del ciclo primavera–verano (SADER, 2023). La lámina bruta aplicada entre 2008 y 2018 en cultivo de algodón en el Valle de Mexicali fue de 130 cm (IMTA,

2020), un valor superior a la dotación de 101 cm por hectárea. Bajo este escenario, resulta indispensable implementar prácticas de manejo eficiente del riego que aseguren tanto la productividad y competitividad agrícola como la sustentabilidad. El uso de TDR portátiles (Time Domain Reflectometry) surge como una alternativa viable para el monitoreo de humedad, siempre que se calibren a condiciones locales (Maisha y Steele, 2025).

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo primavera–verano 2025, en una parcela experimental del Ejido Morelia (Valle de Mexicali), perteneciente al Módulo de Riego 17 del Distrito de Riego 014, propiedad del Ing. Andrés Mendoza Cisneros. Se utilizó la variedad de algodón DP1845, con fecha de siembra el 13 de abril y manejo agronómico del cultivo acorde a las prácticas locales.

Se recolectaron muestras de suelo en nueve sitios representativos, mediante muestreo en zigzag, a profundidades 0-30 y 30-60, que posteriormente fueron homogenizadas y analizadas para determinar materia orgánica y textura según la NOM-021-SEMARNAT-2000. La evapotranspiración de referencia (ET0) se obtuvo del Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego de Baja California (SIMARBC).

La humedad del suelo se monitoreó mediante lecturas in situ con un sensor TDR-350 y muestreos gravimétricos de referencia, a partir de los cuales se construyó la curva de calibración mediante regresión lineal, validada con el coeficiente de determinación R^2. El seguimiento fenológico del cultivo se realizó cada 15 días, registrando altura de planta y profundidad de raíz conforme a la escala extendida BBCH para algodón, lo que permitió integrar información climática, edáfica y fisiológica en un marco metodológico robusto para la caracterización del sistema de producción.

Las constantes hídricas del suelo, capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP), se estimaron con los modelos de Rawls y Brakensiek (1983). Los requerimientos hídricos se calcularon con base en los coeficientes de cultivo (Kc) reportados para algodón en el Manual FAO-56 (Allen et al., 1998), y el intervalo entre riegos se determinó siguiendo la metodología propuesta por Sifuentes-Ibarra et al. (2016). Considerando el porcentaje de agotamiento de agua útil por etapa fenológica y las recomendaciones de la FAO para la programación de riegos.

Resultados y discusión

El suelo del lote experimental se clasificó como franco limoso, con una capacidad de campo (CC) de 29 % y un punto de marchitamiento permanente (PMP) de 11 %. El criterio de riego y la profundidad radicular considerados en cada etapa fenológica se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. *Criterios de riego por etapa fenológica en algodón y profundidad de raíz.*

Etapa	**Prof. raíz (cm)**	**Criterio de riego (%)***
Cabeza de alfiler	40	70
Cuadro susceptible	50	70
Etapa	**Prof. raíz (cm)**	**Criterio de riego (%)***
Floración	70	50
Corte fisiológico (Cut Out)	80	70

* % de agua aprovechable que se permite consumir antes de aplicar el riego

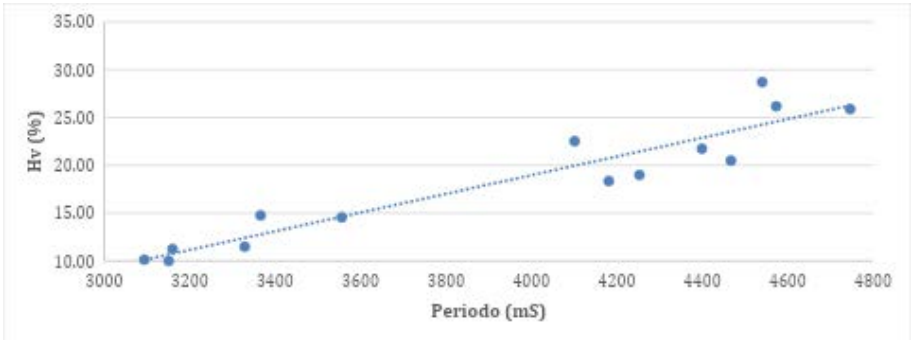
La relación entre las lecturas de periodo (adimensional) del TDR-350 y el contenido volumétrico de humedad (Hv), mostrada en el Cuadro 2 y la Figura 1, permitió obtener la ecuación de calibración local del sensor (Ecuación 1) para las condiciones del sitio experimental. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.89$) confirma su pertinencia bajo las condiciones edáficas locales, con alta precisión para estimar el contenido de agua en el suelo (Maisha y Steele, 2025).

$$Hv\ (\%) = 0.0098(\text{Periodo}) - 20.157 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Cuadro 2. *Lecturas de suelo franco limoso representativo de la parcela experimental.*

Periodo	**Hv (%)**	**Periodo**	**Hv (%)**	**Periodo**	**Hv (%)**
4573	26.17	4399	21.75	3094	10.13
4540	28.71	4253	18.98	4467	20.50
4746	25.89	3329	11.49	3366	14.77
4181	18.35	3160	11.25	3556	14.56
4101	22.53	3151	9.86		

Figura 1. *Gráfica de calibración para suelo franco limoso representativo de la parcela experimental.*



El 31 de mayo, durante la etapa fenológica "cabeza de alfiler", la lectura promedio del periodo de 4080 con el sensor TDR-350 en una profundidad de 0-40 cm fue de 4080, lo que correspondió a una humedad del 19,83 %, de acuerdo con la ecuación 1. Con una ET0 promedio de 7.3 mm día-1 (primera decena de junio, 2006 a 2024), y un Kc = 0.35, la evapotranspiración del cultivo (ETc) fue de 2.56 mm día-1. Por lo que, para alcanzar el agotamiento permitido, se determinó un intervalo de 5 días para la aplicación del riego. Estos resultados ponen en evidencia que la metodología permite definir el momento adecuado de riego, reduciendo pérdidas por exceso de riego o déficit hídrico.

Conclusiones

Se obtuvo una curva de calibración local para sensores TDR en suelo franco limoso bajo cultivo de algodón en el Valle de Mexicali, con un ajuste estadístico robusto ($R^2 = 0.89$). La integración de esta herramienta con datos fenológicos, climáticos y edáficos optimiza la programación del riego al ajustarla a la humedad real del suelo. No obstante, es necesario validar la metodología en ciclos agrícolas adicionales y compararla con parcelas testigo para confirmar los resultados, cuantificar los posibles ahorros de agua y evaluar su efecto en el rendimiento. Esta metodología constituye una alternativa viable para promover el uso eficiente del recurso hídrico y fortalecer la sostenibilidad agrícola regional ante la creciente escasez de agua.

Agradecimientos

Se agradece al productor cooperante, Ing. Andrés Mendoza Cisneros, por su apoyo y facilidades brindadas. A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por los recursos otorgados, y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca que hizo posible esta investigación. A The Nature Conservancy (TNC), por el préstamo del sensor portátil TDR y su disposición para colaborar, en especial al M.C. Edgar Carrera Villa y al Ing. Luis Ángel Arroyo Terán. Finalmente, se reconoce a los estudiantes Miguel Ángel Pastrana Huizar, Jesús Manuel González León, Dylan Figueroa Díaz, Edwin Emanuel Merino Martínez, Arnoldo Ortiz Romo, Oswaldo Félix Romero, Román Yahir Arvizu Arvizu y José Arturo Ramos García, por su valiosa participación en las mediciones y actividades del experimento.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (21 de marzo de 2024). *Acta 330: Ampliación de las medidas temporales en el Río Colorado* [Minuta]. https://www.cila.gob.mx/actas/330.pdf.

IMTA. (2020). *El agua en el Valle de Mexicali, Baja California: origen, uso y destino*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/gobmx/2020/EL_AGUA_VALLE_MEXICALI.pdf.

Maisha, R. M., y Steele, D. D. (2025). *Field calibration of a time-domain reflectometry sensor for soil water content measurement*. Water, 17(8), 1203. https://doi.org/10.3390/w17081203.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (30 de mayo de 2023). *Aumenta la superficie sembrada del ciclo Primavera-Verano 2023 en Mexicali*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/baja-california/articulos/aumenta-la-superficie-sembrada-del-ciclo-primavera-verano-2023-en-mexicali

Sifuentes-Ibarra, E., Macías-Cervantes, J., González-Hernández, F., Flores-Gallardo, H., Borbón-Gracia, A., y Preciado-Rangel, P. (8–10 de septiembre de 2016). *Metodología sistematizada con TDR portátiles, para el manejo eficiente del agua en maíz en Sinaloa* [Ponencia]. II Congreso Nacional de Riego y Drenaje (COMEII 2016), Chapingo, Estado de México.

Capítulo 73

Rendimiento del trigo cristalino (*Triticum durum*) y productividad del agua bajo dos fechas de siembra y dos láminas de riego en dos ciclos agrícolas

Fernández Hernandez Marbella[1]
Cruz Bautista Fidencio[2*]
Rodríguez Julio César[2]

[1] Maestría en Sistemas de Producción Agropecuaria. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México.
[2] Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México. *fidencio.cruz@unison.mx.

Resumen

Este estudio evaluó el efecto de dos fechas de siembra y dos láminas de riego, durante dos ciclos agrícolas, sobre el rendimiento de trigo variedad CIRNO C2008 (*Triticum durum*) y la productividad del agua de riego, en la Costa de Hermosillo, Sonora. El trigo se sembró en dos fechas: siembra normal (15 de noviembre) y siembra tardía (30 de noviembre), en los ciclos 2023-2024 y 2024-2025. En cada fecha de siembra se aplicaron dos niveles de riego: completo y reducido. Las variables analizadas fueron el rendimiento de grano (t ha^{-1}) y la productividad del agua de riego (kg m^{-3}), calculadas a partir de la cosecha de cada unidad experimental.

En el ciclo 2024-2025, el rendimiento promedio fue de 4.3 t ha^{-1}, siendo superior en la siembra normal (4.8 t ha^{-1}) que en la tardía (3.8 t ha^{-1}), patrón similar al observado en el ciclo 2023-2024, con un promedio de 4.2 t ha^{-1}. La productividad del agua en 2024-2025 fue de 1.7 kg m^{-3}, inferior a la registrada en la siembra normal del ciclo anterior (2.7 kg m^{-3}). Aunque los rendimientos fueron relativamente estables entre ciclos, la eficiencia en el uso del agua mostró mayor variabilidad, lo que subraya la necesidad de estudios multianuales para evaluar el impacto del clima y optimizar las estrategias de riego y fechas de siembra en regiones áridas como Sonora.

Introducción

El trigo es uno de los primeros cultivos domesticados por el ser humano, con más de ocho mil años de historia en la alimentación de civilizaciones de Europa, Asia Occidental y el norte de África. Actualmente, representa la principal fuente de grano alimentario a nivel mundial, aportando cerca del 20 % de la ingesta calórica global (IPPC, 2023).

En México, destacan dos tipos de trigo: el harinero (*Triticum aestivum* L.) y el cristalino (*Triticum durum* Desf.), con producción concentrada en el Noroeste y El Bajío (Valenzuela-Antelo et al., 2018). En Sonora, el trigo

cristalino es un cultivo estratégico, cuyo rendimiento depende principalmente de la disponibilidad de agua y la fecha de siembra.

Este cultivo requiere entre 500 y 650 mm de agua por ciclo, con alta demanda en etapas críticas como encañe y llenado de grano (Salinas et al., 2015; Pistoni, 2020). En regiones áridas como la Costa de Hermosillo, la escasez de agua es el principal factor limitante, lo que exige prácticas que mejoren la eficiencia en el uso del recurso hídrico (Pedrozo-Acuña, 2020; Zwart et al., 2004).

Una alternativa es la programación de riegos basada en la evapotranspiración del cultivo (ETc), orientada a incrementar la eficiencia y la sustentabilidad (Cruz-Bautista et al., 2023). Estudios recientes han demostrado que la fecha de siembra influye significativamente en el rendimiento, y que es posible mantener la productividad con reducciones de entre 20 y 40 % en la lámina de riego aplicada (Fernández et al., 2024). Sin embargo, se requieren estudios multianuales para identificar tendencias y reducir la incertidumbre asociada a la variabilidad climática (Lobell et al., 2011).

Por ello, este estudio evaluó el efecto de dos fechas de siembra (normal y tardía) y dos láminas de riego (completa y reducida) sobre el rendimiento y la productividad del agua en trigo cristalino (*Triticum durum*) en el ciclo 2023-2024 y 2024-2025 en la Costa de Hermosillo.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el área experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora (29.013091, -111.134617), ubicada a 21 km al oeste de Hermosillo, Sonora.

Se utilizó la variedad CIRNO C2008 de trigo cristalino (Triticum durum), sembrada en dos fechas: siembra normal (N) el 15 de noviembre y siembra tardía (T) el 30 de noviembre, durante los ciclos 2023–2024 y 2024–2025. Cada fecha de siembra incluyó tres parcelas de 136 m² (8 m × 17 m), con siembra a doble hilera y separación entre surcos de 0.8 m.

En cada parcela se aplicaron dos niveles de riego: completo (C) y reducido (R), definidos con base en la evapotranspiración del cultivo (ETc). La evapotranspiración de referencia (ETo) se estimó mediante la metodología de FAO-56 (Allen et al., 1998), utilizando datos meteorológicos diarios del sitio de estudio. La ETc se calculó con la siguiente fórmula:

$$ETc=ETo*Kc*Kl$$

Donde: Kc = coeficiente de cultivo (tomados de Ávila et al. [2014]) y Kl = coeficiente de localización (0.6), ajustado por fracción de cobertura del suelo.

La cosecha se realizó en cada unidad experimental siguiendo el método A recomendado por Pask et al. (2013), para determinar el rendimiento de grano (t ha^{-1}). También se calculó la productividad del agua de riego (kg m^{-3}) con base en el volumen aplicado y el rendimiento obtenido.

Los Cuadros 1 y 2 presentan los datos acumulados de ETo, ETc y láminas de riego aplicadas en cada fecha de siembra para ambos ciclos agrícolas.

Cuadro 1. *Fechas de siembra, evapotranspiración y riego para el ciclo 2023-2024.*

Siembra normal (N), 15 de noviembre				
Fecha	ETo Acum.	ETc Acum.	Riego (mm)	
	(mm)		C	R
23/11/2023	30.4	0.9	16.7	16.7
07/12/2023	68.1	5.8	13.3	13.3
23/12/2023	109.1	16.1	16.7	16.7
12/01/2024	160.1	36.5	13.3	8.3
20/01/2024	182.9	48.9	10.0	8.3
25/01/2024	194.9	56.0	13.3	13.3
03/02/2024	225.5	74.7	15.0	15.0
11/02/2024	247.7	89.3	20.0	20.0
21/02/2024	284.8	114.2	20.0	20.0
27/02/2024	304.9	127.9	23.4	23.4
05/03/2024	334.3	148.4	43.4	33.4
Total	334.3	148.4	205.2	188.5

Siembra tardía (T), 30 de noviembre				
Fecha	ETo Acum.	ETc Acum.	Riego (mm)	
	(mm)		C	R
07/12/2023	18.4	0.4	11.7	11.7
22/12/2023	56.4	5.4	13.3	13.3
08/01/2024	149.0	16.8	16.7	16.7
20/01/2024	182.9	28.9	13.3	8.3
30/01/2024	211.5	43.3	13.3	13.3
06/02/2024	234.0	57.6	13.3	13.3
14/02/2024	257.6	71.1	20.0	20.0
21/02/2024	284.8	87.7	20.0	20.0
27/02/2024	304.9	100.8	20.0	20.0
07/03/2024	342.5	122.5	30.0	30.0
16/03/2024	383.0	147.3	23.4	23.4
23/03/2024	414.7	165.6	20.0	20.0
Total	414.7	165.6	215.2	210.2

Cuadro 2. *Fechas de siembra, evapotranspiración y riego para el ciclo 2024-2025.*

Siembra normal (N), 15 de noviembre				
Fecha	ETo Acum.	ETc Acum.	Riego (mm)	
	(mm)		C	R
16/11/2024	2.7	0.0	26.7	26.7
11/12/2024	55.0	6.9	36.7	36.7
02/01/2025	110.9	27.7	20.0	20.0
19/01/2025	162.0	59.1	32.4	32.4
01/02/2025	197.8	87.2	23.4	13.3
16/02/2025	244.5	124.0	23.4	23.4
19/02/2025	257.7	134.4	18.3	18.3
01/03/2025	300.3	170.1	40.0	20.0
Total	300.3	170.1	220.8	190.8

Siembra tardía (T), 30 de noviembre				
Fecha	ETo Acum.	ETc Acum.	Riego (mm)	
	(mm)		C	R
02/12/2024	2.4	0.0	26.7	26.7
22/1272024	50.2	5.8	46.7	46.7
15/01/2025	116.9	30.1	26.7	26.7
29/01/2025	157.6	51.5	30.0	30.0
05/02/2025	176.6	67.9	23.4	13.3
10/02/2025	191.1	79.6	30.0	30.0
20/02/2025	234.7	111.6	35.0	35.0
01/03/2025	273.0	142.8	25.0	25.0
Total	273.0	142.8	243.5	233.5

Resultados y discusión

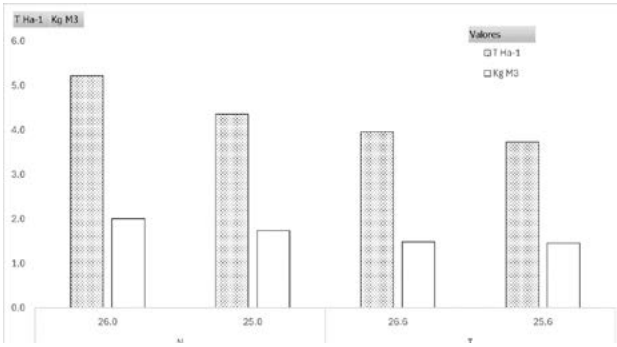
Durante el ciclo agrícola 2023–2024, el rendimiento de trigo fue significativamente mayor en la siembra normal (N), con valores entre 4.5 y 5.8 t ha^{-1}, en comparación con la siembra tardía (T), que alcanzó únicamente entre 3.3 y 3.5 t ha^{-1}. Este comportamiento sugiere que establecer el cultivo a mediados de noviembre permite un mejor aprovechamiento de las condiciones ambientales, lo que se traduce en incrementos de rendimiento.

En el ciclo 2024–2025 se observó un patrón similar: el rendimiento promedio fue de 4.3 t ha^{-1}, destacando nuevamente la siembra N con 4.8 t ha^{-1}, mientras que la T registró 3.8 t ha^{-1} (Figura 2). Estos resultados confirman que la fecha de siembra es un factor determinante para la productividad del trigo cristalino, en concordancia con lo reportado por Ávila et al. (2014), quienes señalan que la siembra temprana asegura condiciones más favorables para el desarrollo del cultivo.

Respecto a la productividad del agua de riego (PA), en el ciclo 2023–2024 se registraron valores más altos en N, con un rango de 3.3 a 3.6 kg m^{-3}, mientras que en la T los valores fueron menores, entre 1.9 y 2.3 kg m^{-3}. Esto indica que, además de favorecer el rendimiento, N contribuye a un uso más eficiente del agua aplicada (Figura 1).

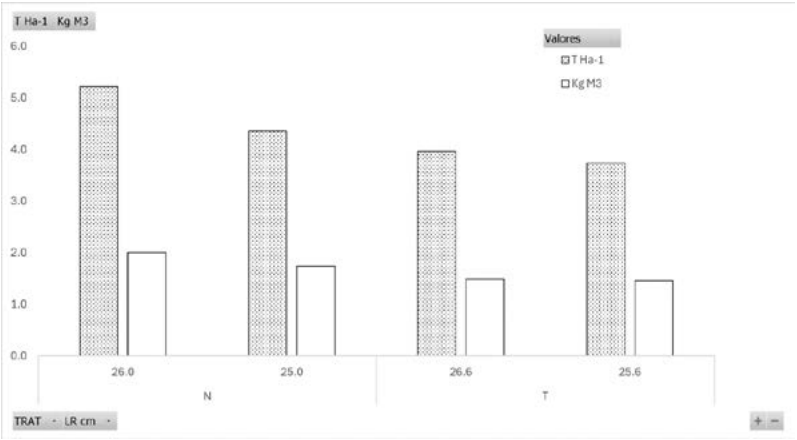
En contraste, durante el ciclo 2024–2025, la PA del agua mostró una disminución general, con valores entre 1.7 y 2.0 kg m^{-3} para N y de 1.7 kg m^{-3} para T. Estos resultados fueron inferiores a los registrados en la siembra normal del ciclo anterior, aunque se aproximaron a los valores observados en la siembra tardía de 2023–2024 (Figura 2).

Figura 1. *Rendimiento de grano trigo variedad CIRNO y productividad del agua de riego en dos fechas de siembra. Siembra normal (N):15 de noviembre, siembra tardía (T):30 de noviembre del 2023, bajo dos niveles de riego, completo (C) y reducido (R).*



A pesar de que en el ciclo 2024–2025 se aplicaron láminas de riego superiores a los requerimientos de evapotranspiración estimados, la eficiencia hídrica fue menor. Esta reducción podría atribuirse a condiciones ambientales menos favorables, como incrementos en la demanda evaporativa, radiación o temperatura durante etapas críticas del cultivo, lo cual coincide con lo reportado por Saint Pierre et al. (2012). No obstante, dado que no se cuenta con series climáticas detalladas en este análisis, dicha hipótesis requiere ser confirmada en estudios posteriores.

Figura 2. *Rendimiento de grano trigo variedad CIRNO y productividad del agua de riego en dos fechas de siembra Ciclo 2024-2025. Siembra normal (N):15 de noviembre, siembra tardía (T):30 de noviembre del 2024, bajo dos niveles de riego, completo (C), reducido (R).*



Conclusiones

La siembra del trigo el 15 de noviembre permitió obtener rendimientos de entre 4.5 y 5.8 t ha^{-1} y una eficiencia de 3.3 a 3.6 kg m^{-3} en el uso del agua en comparación con la siembra tardía del 30 de noviembre. Aunque los rendimientos fueron relativamente estables entre los ciclos agrícolas 2023–2024 y 2024–2025, la productividad del agua mostró variaciones importantes, lo que resalta la influencia de las condiciones climáticas sobre la eficiencia hídrica.

Estos hallazgos respaldan la implementación de estrategias de manejo agronómico basadas en la programación de riegos por evapotranspiración y en la selección de fechas de siembra óptimas. En regiones áridas como la Costa de Hermosillo, donde la disponibilidad de agua es limitada, dichas estrategias son clave para mejorar la sustentabilidad del cultivo de trigo.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.

Ávila, M.J.A., Ávila, S.J.M., Rivas, S.F.J. y Martínez, H.D. (2014). *El cultivo del trigo. Sistema de producción en el noroeste de México.* Universidad de Sonora.

Cruz-Bautista, F., López-Cruz, I.L., Rodríguez, J.C., Ochoa-Meza, A., Ruíz-García, A. y Er-Raki, S. (2024) *Irrigation optimization in green asparagus (Asparagus officinalis L.) using the AquaCrop model and evolutionary strategy algorithms.* Irrigation and Drainage, 73(1), 136–150. Available from: https://doi.org/10.1002/ird.2853

Fernández-Hernández, M., Cruz-Bautista, F., Rodríguez, J.C. y Chatir, L.E. (2024). *Rendimiento de trigo cristalino (triticum durum) y productividad del agua de riego en dos fechas de siembra en Sonora. En: Producción agrícola sustentable: estrategias biológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria.* Agua y suelo. Tomo II. Astra Editorial. México.

International Plant Protection Convention. (2023). *Don't let these fields of gold disappear: Wheat (Triticum sp.)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.ippc.int/en/resources/top-crops-why-protecting-them-from-plant-pests-matter/wheat-triticum-sp

Lobell, D. B., Schlenker, W., y Costa-Roberts, J. (2011). *Climate trends and global crop production since 1980*. Science, 333(6042), 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531

Pask, ADJ., Pietragalla, J., Mullan, DM., Chávez-Dulanto PN. Y Reynolds, MP (Eds). (2013). *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una guía para la caracterización Fenotípica del Trigo.* México,

Pedrozo-Acuña, A. (2020). *Hacia una agricultura eficiente y sustentable.* Perspectivas IMTA. 21. DOI: doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-21

Pistoni, L. (2020). *Cultivo de Trigo.* https://eac.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/03/Cultivo-de-Trigo-2020.pdf.

Saint Pierre C, Crossa JL, Bonnett D, Yamaguchi-Shinozaki K, Reynolds MP. (2012). *Phenotyping transgenic wheat for drought resistance.* J Exp Bot. 63(5):1799-808. https://doi.org/0.1093/jxb/err385.

Salinas, A., Giubergia, J.P., Severina, I y Aimar F. (2015). *Consumo y disponibilidad de agua en cultivo de riego*. Informe técnico. Grupo de Riego del INTA Manfredi. Riegos y Drenajes Argentina.

Valenzuela-Antelo, JL., Bénitez-Riquelme, I., Villaseñor-Mir, HE., Huerta-Espino,J., Lobato-Ortiz, R., Bueno-Aguilar, G. y Vargas-Hernández, M. (2018). *Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego*. Revista fitotecnia mexicana, 41(2), 159-166. https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.159-166.

Zwart, S.J., and Bastiaanssen, W.G.M. (2004). *Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize*. Agricultural Water Management. 69(2),115-133. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.007.

Capítulo **74**

Aislamiento y virulencia de poblaciones de bacterias en el cultivo de chile (*Capsicum* SPP.) del estado de Sinaloa

López Molina R.[1*]
Vega Gutiérrez T. A.[1]
Molina Cárdenas L.[1]
López Orona C. A.[1]
Tirado Ramírez M. A.[1]
López Urquidez G. A.[1]
Román Román L.[1]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa., Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado Km 17.5, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. *Ramon_lm16@hotmail.com.

Resumen

México es centro de origen y el país que presenta la mayor variabilidad de formas cultivadas y silvestres de las especies de chile (*Capsicum* spp.), que se encuentran distribuidas en territorio nacional. El estudio de bacterias fitopatógenas en cultivos de chile es de gran importancia económica, ya que México ocupa el segundo lugar en exportación de chile a nivel mundial, y con ellos se deben tener estudios de patógenos que afectan la producción del cultivo, ya que en el comercio y en cumplimiento de las directrices internacionales, contar con la sanidad de los cultivos es primordial para poder competir en el mercado internacional. El objetivo del estudio fue aislar las poblaciones bacterianas y determinar la virulencia que afecta al cultivo de chile (*Capsicum* spp.) en el estado de Sinaloa. Se tomó el tejido vegetal que presentaba síntomas, se realizaron pequeños cortes con un bisturí, se desinfectó con etanol al 70 % e hipoclorito de sodio al 1 %, y se depositó en un tubo falcón con agua destilada estéril. Se agitó durante 15 minutos a temperatura ambiente, introdujo el asa bacteriana y, por estría cruzada, se dispersó en medio de cultivo de aislamiento (agar bacteriológico y agar tripticaseína de soya). Se procedió con los ensayos de hipersensibilidad. Resultados: Se logró la obtención de 1181 aislados bacterianos en el cultivo de chile en el estado de Sinaloa. Por lo que, en este trabajo se identificaron diversas cepas con diferentes niveles de virulencia, lo que permite un enfoque más preciso para su control.

Introducción

El cultivo de chile tiene gran impacto a nivel mundial, destacando los mayores productores: China, Argentina, EE. UU., México, Brasil, Francia, India y algunos países de África. En México, los estados de mayor producción, superficie sembrada y rendimiento son: Sinaloa, Jalisco, Chihuahua, Zacatecas y Veracruz, generando una ganancia de 1 047 000 millones de

dólares a través de las exportaciones a Estados Unidos (SIAP, 2024). En el año 2000 en Sinaloa, se detectó en el cultivo de chile (*Capsicum* spp.) la marchitez bacteriana, manchas, tizones foliares, pudriciones blandas de frutos, raíces y órganos almacenados, marchitamientos, crecimientos excesivos, sarnas, cancros, entre otros, causada por bacterias fitopatógenas como Erwinia carotovora subsp. carotovora. Estudio reciente de identificación de especies y razas fisiológicas de Xanthomonas aislados de jitomate (*Solanum lycopersicum*) y chile (*Capsicum annuum*) en Sinaloa. Es importante señalar que las afectaciones por bacterias ocasionan pérdidas de un 40 % de rendimiento (Velásquez et al., 2001). El objetivo del estudio fue aislar las poblaciones bacterianas y determinar la virulencia que afecta al cultivo de chile (*Capsicum* spp.) en el estado de Sinaloa. Abordamos la salud de los cultivos, como la sostenibilidad de la agricultura. Además, contribuimos al desarrollo de nuevas tecnologías y el manejo de enfermedades en la agricultura, así como también a la falta de estudios comparativos completos y sistémicos que entreguen aislamiento, la caracterización molecular y la evaluación de virulencia de poblaciones bacterianas en el cultivo de chile, donde se obtuvieron resultados de los municipios del estado de Sinaloa.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en sus diferentes etapas en el laboratorio de fitoprotección ubicado en la Facultad de Agronomía en la Universidad Autónoma de Sinaloa en el municipio de Culiacán, estado Sinaloa, México. La división del muestreo se realizó en cuatro regiones: zona norte, zona centro norte, zona centro y zona sur del estado de Sinaloa, las cuales comprenden 14 municipios donde se siembra el cultivo de chile: Ahome, Angostura, Concordia, Culiacán, Elota, Escuinapa, El Fuerte, Guasave, Mazatlán, Mocorito, Rosario, San Ignacio, Sinaloa y Navolato. Las muestras colectadas fueron plantas de chile (*Capsicum* spp.) con síntomas en la temporada otoño-invierno. Se realizaron pequeños cortes, desinfectados y sembrados en medio agar bacteriológico y agar tripticaseína de soya, donde se obtuvieron aislados puros (Madigan et al., 2018). Las características morfológicas del aislamiento fueron observadas en medio y agar tripticaseína de soya, mediante observación directa (Rodríguez, 2006). Posteriormente, se llevó

a cabo la preservación de los aislados en medio TSA al 70 % y glicerol al 30 % (Capuchino y Welsh, 2017). Las pruebas de patogenicidad fueron en plantas de ornato suculentas, ya que son plantas indicadoras resistentes utilizadas en la bacteriología (Lee et al., 2015). Con el objetivo de conocer la relación existente entre las poblaciones de diferentes géneros de bacterias y la cantidad de géneros encontrados en diferentes días después del planteo, se realizará un análisis con diseño factorial para ver el comportamiento del aislado bacteriano uno contra el aislado dos. Los análisis estadísticos se realizaron con el software R. estudio. Se realizó la prueba de patogenicidad en un periodo de 25 días. Las variables evaluadas: días transcurridos de la inoculación y aparición de daños visibles, así como severidad de los daños. Las plantas de suculentas presentaron daños en las hojas, marchitez, defoliación, pudrición.

Resultados y discusión

Mediante los resultados preliminares se obtuvieron 1181 aislados de cultivo de chile de 14 municipios del estado Sinaloa (Cuadro 1). Se inocularon 161 plantas de suculentas; a los 16 días del ensayo, se determinó que 10 aislados fueron virulentos, observándose síntomas como marchitez, defoliación y pudrición, similares a los observados en campo y a los síntomas encontrados en el cultivo de chile (*Capsicum* spp.) (Cuadro 2). En las plantas testigo no se observaron síntomas. El impacto de este trabajo tiene gran importancia en el cuidado fitosanitario del cultivo, la generación de conocimiento, lo que permite mejorar las prácticas agrícolas, así como favorece la reducción de agroquímicos y promueve una agricultura más responsable con el medioambiente. El aislamiento y la caracterización de bacterias asociadas al cultivo de chile (*Capsicum* spp.) en el estado de Sinaloa permitieron identificar una diversidad de poblaciones bacterianas con distintos niveles de virulencia y comportamiento patogénico. Los estudios preliminares confirmaron que las enfermedades bacterianas continúan representando un problema relevante en las zonas agrícolas del noroeste de México, donde las condiciones de temperatura y humedad favorecen la proliferación y diseminación de bacterias fitopatógenas.

Cuadro.1. *Aislados bacterianos por municipio del cultivo de chile (Capsicum spp.) en Sinaloa, México.*

Municipio	Coordenadas	Aislados
Escuinapa	22°44'19.68" - 105°43'47.53"	131
Rosario	23°1'3.4" - 105°51'27.65"	158
Elota	24°2'4.67" - 106°50'41.68"	149
Mazatlán	23°14'29" - 106°24'35"	133
Culiacán	24°48'15" - 107°25'52"	102
Guasave	25°33'55.97" -108°28'18.55"	83
Ahome	25°47'37" - 108°59'49"	87
Navolato	24°45'56" - 107°42'7"	129
Sinaloa	25°49'22" - 108°13'24"	38
Concordia	23°17'12.98" - 106°3'50"	91
El Fuerte	26°25'17" - 108°37'11"O	57
San Ignacio	23°56'29" -106°25'27"	23
Total		1181

Cuadro. 2. *Aislado bacterianos patogénicos del cultivo de chile (Capsicum spp.) en el estado de Sinaloa, México.*

Aislado	Variedad
ELR102	Jalapeño
ELR89	Anaheim
ELR851	Chilaco
ELR852	Chilaco
ELR802	Bell
GSV122	Jalapeño
ELT394	Jalapeño
ELT393	Jalapeño
ELF114	Jalapeño
ELF117	Jalapeño

Referencias

Capuchino, A. B., y Welsh, C. D. (2017). *Preservación de aislados bacterianos en medio TSA con glicerol.* Revista de Microbiología Aplicada, 12(3), 45-53.

Lee, J., Kim, S., y Park, H. (2015). *Prueba de virulencia de bacterias fitopatógenas en plantas de ornato suculentas.* Revista de Fitopatología Experimental, 22(3), 145–153

Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., y Stahl, D. A. (2018). *Brock biology of microorganisms*. 15.ª ed. Pearson.

Rodríguez, M. M. L. (2006). *Manual para la identificación de bacterias fitopatógenas*. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.

SADER-SIAP (2024). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*. Cierre de la producción agrícola por estado.

Velásquez-Valle, R., Medina-Aguilar, M. M., y Luna-Ruiz, J. J. (2001). *Sintomatología y géneros de patógenos asociados con las pudriciones de la raíz del chile (Capsicum annuum L.) en el norte-centro de México*. Revista Mexicana de Fitopatología, 19, 175-181.

Capítulo 75

Propagación de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mediante material vegetativo

Borjas Pérez Aldo Jaciel[1*]
Vega Gregorio Lucero[1]
Ruiz Espinoza Francisco Higinio[1]
Coronado García Manuel Arturo[1]
Sánchez García Romina de Jesús[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km 5.5., CP 23085, La Paz, Baja California Sur, Mexico. * aborjas_22@alu.uabcs.mx.

Resumen

La pitahaya (*Hylocereus undatus*), conocida como "fruta del dragón", es una fruta exótica que se destaca por sus propiedades nutricionales y compuestos bioactivos, siendo considerada un alimento funcional. La planta es perenne, resistente a la sequía, y prospera en climas cálidos y subhúmedos. Su propagación vegetativa es clave para su cultivo, por lo que este estudio tiene como objetivo evaluar diferentes métodos para propagar la pitahaya. El experimento se realizó en la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), donde se utilizaron esquejes (cladodios) de pitahaya; se aplicaron cuatro tratamientos, combinando enraizador comercial y condiciones de luz (sombra total o malla sombra). Se evaluaron el porcentaje de prendimiento, la longitud y número de raíces; los resultados mostraron que el tratamiento con enraizador en malla sombra (EMS) y sin enraizador en sombra total (SNS) tuvieron los mejores porcentajes de prendimiento (83,33 %). En cuanto a la longitud de las raíces, el tratamiento SNS obtuvo los mejores resultados, mientras que, en cantidad de raíces, el EMS fue el más efectivo. Los análisis de varianza confirmaron diferencias significativas entre tratamientos.

Introducción

La pitahaya (*Hylocereus undatus*), comúnmente conocida como "fruta del dragón", es una fruta exótica, cuya reputación se está extendiendo en todo el mundo. Su popularidad se debe a sus características fisicoquímicas, nutricionales y sus compuestos bioactivos, considerándose como un alimento funcional, siendo ampliamente utilizado por sus excelentes características organolépticas y por su valor comercial agregado (Ruiz et al., 2020).

Las plantas de pitahaya son perennes y requieren soporte porque su morfología les impide sostenerse; son resistentes a la sequía y prosperan desde el nivel del mar hasta 1850 m, requieren temperaturas de 18 a 26 °C (Osuna et al., 2015).

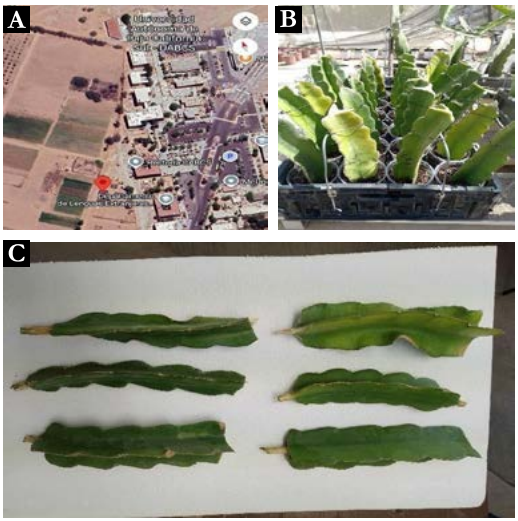
En la pitahaya, la principal forma de propagación es vegetativa, a partir de los cladodios o esquejes, de manera natural a través de la separación de los tallos y en el caso de plantas cultivadas, mediante trasplante directo en el terreno definitivo o su colocación en bolsas con sustrato hasta la formación de nuevos tallos. También se utiliza el injerto a partir de vástagos y patrones seleccionados (Montesinos et al., 2015).

Materiales y métodos

El experimento se realizó en las instalaciones de la UABCS, en la ciudad de La Paz BCS., con las siguientes coordenadas 24°06'03.2"N 110°19'02.6"W (Figura 1 A) en malla sombra de 50 % de sombreo y en sombra total, esto se realizó con material vegetativo "cladodios", los cuales se cortaron a 25 cm de longitud, posteriormente se procedió a descubrir 2 cm del tallo (Figura B); después se procedió a perforar los recipientes donde se colocó el sustrato inerte, siendo este una mezcla de arena (50 %) y *peat moss* (50 %) se elaboró un sistema de soporte para los cladodios, esto con una caja de plástico (dimensiones 40*60*14 cm) y alambre galvanizado calibre 10, ya que solo los 2 cm del cladodio se introdujeron en el sustrato (Figura C).

Se manejaron cuatro tratamientos, cada tratamiento con seis repeticiones; cada repetición constó de dos cladodios. Los tratamientos fueron: T1 - Enraizador en malla sombra (EMS), T2 - Sin nada en malla sombra (SNMS), T3 - Enraizador a la sombra (ES) y T4 - Sin nada a la sombra (SNS). El enraizador aplicado fue "Raizone Plus" (alfanaftilacetamida al 0,12 % y ácido indol-3-butírico al 0,06 %). Al momento del establecimiento, se compararon dos tratamientos a la sombra y dos en malla sombra con 50 % de sombreo. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de prendimiento, número de raíces y longitud de la raíz más larga. El análisis estadístico (ANOVA) se realizó mediante el programa estadístico Past 5.2. Las comparaciones de medias se hicieron con la prueba de Tukey.

Figura 1. *A. Lugar del experimento, B. Tallo descubierto 2 cm y C. Soporte para pitahaya.*



Resultados y discusión

En el Cuadro 1 presenta el porcentaje de prendimiento obtenido en cada tratamiento. Los resultados indican que el T1 (enraizador en malla sombra, EMS) y el T4 (sin aplicación a la sombra, SNS) presentaron el mayor prendimiento de cladodios. Por su parte, el T2 (sin aplicación en malla sombra, SNMS) registró un porcentaje bajo, aunque aceptable. Finalmente, el T3 (con enraizador a la sombra, ES) presentó el menor porcentaje de prendimiento (33,33 %) de cladodios, lo que nos da un porcentaje menor y no aceptable para utilizar en métodos de propagación de pitahayas..

Cuadro 1. *Porcentaje de prendimiento.*

Tratamiento	% de prendimiento
T1 EMS	83,33
T2 SNMS	75,00
T3 ES	33,33
T4 SNS	83,33

EMS: Enraizador en malla sombra, SNMS: Sin nada en malla sombra, ES: Enraizador a la sombra, SNS: Sin nada a la sombra.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados del análisis de varianza, donde se obtuvo una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En longitud de raíz, SNS (T4) fue superior a los demás tratamientos y, en la variable número de raíces, también se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$), donde EMS (T1) fue el de mayor relevancia en comparación con los otros tratamientos.

Cuadro 2. *Análisis de varianza de los cuatro tratamientos.*

Variable	Media (T1)	Media (T2)	Media (T3)	Media (T4)	"F" Calculada	Valor critico de "F" (p=0.05)	Significación
Longitud promedio de raíz	15.33	17.42	7.42	18.75	4.18	3.10	*(p<0.05)
Número promedio de raíces	8.42	8.08	4.00	7.08	3.38	3.10	*(p<0.05)

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias de la variable longitud de raíz con la prueba de Tukey; se usó el paquete estadístico versión 1.0 de la FAUANL elaborado por Olivares (2012). Los tratamientos SNS (T4) y SNMS (T2) fueron superiores y significativamente diferentes al tratamiento T3 (ES); T1 (EMS) fue un tratamiento intermedio, sin diferenciarse claramente de los superiores ni del inferior; T3 (ES) fue significativamente inferior a los tratamientos T4 y T2.

Cuadro 3. *Comparación de medias de la variable longitud de raíz.*

Tratamiento	Media	α= 0.05
T4 SNS	18.5	a
T2 SNMS	17.41	a
T1 EMS	15.33	ab
T3 ES	7.41	b

EMS: Enraizador en malla sombra, SNMS: Sin nada en malla sombra, ES: Enraizador a la sombra, SNS: Sin nada a la sombra.

En el Cuadro 4 se presenta la comparación de medias de la variable cantidad de raíces, con la prueba de Tukey. El tratamiento T1 (EMS) fue superior y significativamente diferente al tratamiento T3 ES; los tratamientos: T2 (SNMS) y T4 (SNS), estadísticamente no se diferenciaron del tratamiento superior ni del inferior; el tratamiento T3 ES fue significativamente inferior al tratamiento T1 EMS.

Cuadro 4. *Comparación de medias de la variable cantidad de raíces.*

Tratamiento	**Media**	**α= 0.05**
T1 EMS	8.41	a
T2 SNMS	8.08	ab
T4 SNS	7.08	ab
T3 ES	4	b

EMS: Enraizador en malla sombra, SNMS: Sin nada en malla sombra, ES: Enraizador a la sombra, SNS: Sin nada a la sombra.

En esta investigación se utilizó un enfoque experimental para evaluar cuatro tratamientos que combinaban distintas condiciones de luz y aplicación de enraizador, buscando obtener el mejor sistema para el desarrollo radicular, lo que coincide con Méndez et al., 2016, donde indican que las condiciones de sombra moderada favorecen la formación de raíces en diversas especies de cactáceas. El análisis de la longitud de raíces y número de raíces reveló que el tratamiento con sombra total (SNS) favoreció la longitud de las raíces, lo cual es consistente con investigaciones previas que sugieren que un ambiente controlado con mayor humedad relativa permite un mejor desarrollo de las raíces (Castro et al., 2018).

Conclusiones

Los resultados de este estudio demostraron que las condiciones ambientales y el uso de enraizadores influyen significativamente en el prendimiento y desarrollo radicular de cladodios de pitahaya. Los tratamientos T1 EMS y T4 SNMS obtuvieron los mayores porcentajes de prendimiento (83,33 %), indicando que tanto el uso del enraizador bajo malla sombra como el simple resguardo en sombra total pueden ser estrategias efectivas para la propagación vegetativa.

En cuanto al desarrollo radicular, el tratamiento T4 SNS mostró la mayor longitud promedio de raíces (18.75 cm), mientras que el tratamiento T1 EMS fue el más efectivo en cuanto al número de raíces (8.42). Ambos tratamientos superaron significativamente al tratamiento T3 ES, que presentó los valores más bajos tanto en prendimiento como en desarrollo de raíces.

Estos hallazgos sugieren que la sombra, especialmente sin el uso de enraizador, favorece la longitud de raíces, posiblemente por condiciones más estables de humedad y temperatura, mientras que la combinación de enraizador con malla sombra mejora la cantidad de raíces emitidas. En consecuencia, el uso del enraizador no siempre es determinante, donde son las condiciones de sombra un factor clave en la propagación de pitahaya.

Referencias

Castro, M., López, T., y Ramírez, A. (2018). *Condiciones ambientales para la propagación de cactus mediante esquejes*. Journal of Arid Land Studies, 28(4), 240-246.

Méndez, R., López, A., y Hernández, L. (2016). *Efecto de la sombra sobre el enraizamiento de esquejes de cactáceas*. Acta Botánica Mexicana, 115, 33-40.

Olivares, E. (2012). *Diseños Experimentales*. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo N. L. Versión 1.0 en disco compacto.

Osuna-Enciso, Tomás, Valdez-Torres, José B., Sañudo-Barajas, Josefa A., Muy-Rangel, Ma. Dolores, Hernández-Verdugo, Sergio, Villarreal-Romero, Manuel, y Osuna-Rodríguez, José M. (2016). *Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (Hylocereus undatus (How.) Britton and Rose) en el valle de Culiacán, Sinaloa, México*. Agrociencia, 50(1), 61-78.

Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., y Paucar-Menacho, L. (2020). *Pitahaya (Hylocereus spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds*. Scientia Agropecuaria, 11(3), 439-453.

Montesinos Cruz J. A., Rodríguez-Larramendi L., Ortiz-Pérez R., Fonseca-Flores M. A., Ruíz Herrera G. y Guevara-Hernández F. (2015). *Pitahaya (Hylocereus spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano*. Revista Scielo. 36 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0258-59362015000500007.

Capítulo **76**

Comportamiento poblacional de *Raoiella Indica Hirst* (*Acari: tenuipalpidae*) en el cultivo de palma datilera en el Valle de Mexicali

Ramos Lima Mayra[1*]
Arredondo Cruz Manuel V.[1]
Flores Peñaloza Olivia[1]
García Velázquez Angel[1]

[1] Instituto Tecnológico de Mexicali. Tecnológico Nacional de México. Av. Instituto Tecnológico s/n Plutarco Elías Calles 21376 Mexicali, Baja California, México. *ramosmayra@itmexicali.edu.mx.

Resumen

Raoiella indica que Hirst está considerado como especie exótica e invasora, recién detectado en Mexicali. El objetivo de este estudio fue ratificar su presencia en áreas de cultivo y, a la vez, evaluar su comportamiento poblacional. Para ello, se realizaron muestreos quincenales en 1 ha de producción de palma datilera. Se tomaron 30 pinnas por cada ha, las que se revisaron en el laboratorio, lo que permitió colectar e identificar los ácaros y relacionar su presencia con las variables climáticas y la fenología del cultivo. Se registra a *R. indica* en campos de palma datilera en el Valle de Mexicali, principalmente en el haz de las hojas. La especie muestra una relación significativa con la fenología del cultivo y la humedad relativa y velocidad del viento promedio. La detección de *R. indica* en palmas datileras del Valle de Mexicali confirma su capacidad de adaptación a condiciones ambientales distintas a las previamente reportadas, lo que incrementa el riesgo para un cultivo estratégico de la región. Su asociación con las climáticas y su mayor abundancia durante la fase de "cuajado e inicio del fruto" evidencian la necesidad de implementar medidas en este periodo crítico para mitigar probables impactos de esta plaga emergente.

Introducción

El dátil (*Phoenix dactylifera* L.) ha cobrado una relevancia creciente en Baja California, especialmente en el Valle de Mexicali, donde se ha consolidado como un cultivo con alto valor económico. En 2021, la producción representó más de 601.6 millones de pesos en valor de producción, con un rendimiento promedio de aproximadamente 8.72 t/ha (ZNN, 2025).

La presencia recién documentada de *Raoiella indica* Hirst, conocido como el ácaro rojo de las palmáceas, en palmas ornamentales de dátil en Baja California (Ramos-Lima y Ortega-Ramírez, 2024) plantea un riesgo adicional para el cultivo debido a su elevada capacidad de invasión, el amplio rango de hospedantes y rapidez de multiplicación (Global Invasive

Species Database, 2025). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y la autoridad fitosanitaria nacional mantienen a *R. indica* como plaga cuarentenaria, con programas de vigilancia, debido a los registros de especie exótica invasora y los daños reportados que posee este tenuipalpido en México (SENASICA, 2020).

El estudio del comportamiento poblacional de *R. indica* en palmas datileras del Valle de Mexicali es relevante por su carácter invasor, conocer su dinámica bajo las condiciones climáticas locales permitirá anticipar períodos de riesgo y prevenir potenciales pérdidas en el cultivo. Con base en ello, el objetivo de este trabajo fue confirmar su presencia y evaluar su comportamiento poblacional en un plantío de dátil, a fin de establecer su papel dentro del agroecosistema.

Materiales y métodos

Se realizaron muestreos quincenales por el método de colecta directa en una huerta orgánica de 1 ha de palma datilera (*Phoenix dactilifera* L.) var. Medjool, situada en el Ejido Jiquilpan (32.5006° N, 115.0614° W). Estos iniciaron en la fase fenológica de "brotación y desarrollo vegetativo" del 31 de enero hasta el 8 de septiembre de 2025, momento en que concluyó la cosecha. En cada muestreo, se tomaron tres pinnas por cada cuadrante de 10 palmeras, seleccionadas al azar; estas se colocaron en bolsas de plástico, para ser revisadas en el laboratorio, por haz y envés, y contabilizar todos los especímenes observados. Para la identificación taxonómica se utilizó la descripción de Etienne y Fletchmann (2006).

Las relaciones de *R. indica* entre las variables climáticas (temperatura (°C), humedad relativa (%) y velocidad del viento (km/h) medias, máximas y mínimas (TemX, Tmáx, Tmin, HRX, HRmáx, HRmín, VVX, VVmáx, VVmín, respectivamente) y la fenología del cultivo en cinco fases: 1) crecimiento vegetativo, 2) floración, 3) cuajado e inicio del fruto, 4) crecimiento y maduración del fruto y 5) cosecha. Se analizaron mediante un modelo lineal generalizado, tipo Poisson, donde la población de *R. indica* fue la variable dependiente. Las fases fenológicas se consideraron variables fijas y las climáticas como variables independientes mediante la herramienta Matlab® R2025. También se graficó el comportamiento poblacional del ácaro, con la HRX, VVx y las fases fenológicas.

Resultados y discusión

Se confirma la presencia de *R. indica* en campos de cultivo. La mayor proporción de individuos se registró en el haz de las hojas, con un valor de 85,6 %, mientras que en el envés se observó un 13,4 %. Este patrón de distribución difiere de los hallazgos reportados por Alananbeh et al. (2019) y contrasta con el comportamiento de la mayoría de los ácaros fitófagos. Este aspecto se pudiera explicar en la palma datilera, porque la pinna se cierra sobre sí misma y brinda las mejores condiciones de protección en este caso, por el haz (la cara superior).

Los resultados del modelo lineal se muestran en la Tabla 1: el valor de X^2 ($p < 0.001$) indica que el modelo explica con alta significación la variación en la población total de la plaga, lo que confirma que las variables incluidas en conjunto explican la variabilidad observada en el comportamiento poblacional de *R. indica.*

Tabla 1. *Estimaciones de coeficientes del modelo lineal: efecto de la fase fenológica y factores climáticos sobre la población de* R. *indica* ($X^2 = 284; p < 0.0001$).

	Estimación	**DS**	**valor de p**
Intercepto	0.58	2.226	0.794
Fase	0.865	0.235	0.0002
Tem X	0.005	0.076	0.093
HRX	-0.201	0.023	0.0005
VV X	-0.574	0.091	0.0004
T máx	-0.023	0.015	0.013
T mín	-0.108	0.047	0.021
HR máx	0.137	0.025	0.0001
HR mín	0.134	0.021	0.0003
Vvmáx	0.125	0.054	0.021
VV mín	0.585	0.074	0.0004

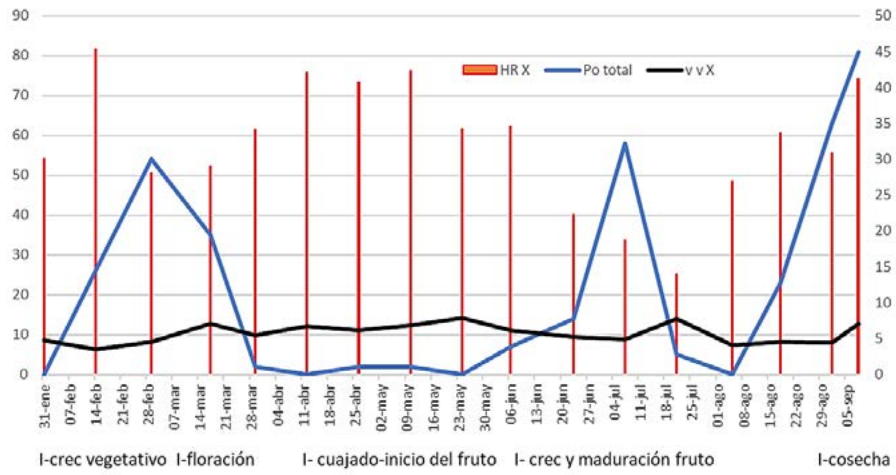
La población total de la plaga está fuertemente influenciada por la fase fenológica del cultivo, lo que confirma que las características como recurso alimentario del tejido vegetal en etapas específicas de desarrollo determina la capacidad de colonización y reproducción de este tenuipalpido. Hernández et al. (2021) señalaron que la fenología de la planta hospedante puede regular la abundan-

cia de plagas al ofrecer microhábitats y recursos diferenciales en cada etapa de crecimiento, lo que podría explicar lo observado en este estudio.

La humedad máxima y mínima mostraron correlaciones positivas significativas, lo que sugiere que niveles elevados de humedad favorecen la supervivencia de *R. indica*, mientras que condiciones secas tienden a limitar el desarrollo poblacional. En contraste, la velocidad promedio del viento mostró un efecto negativo, indicando que la dispersión forzada puede reducir las poblaciones, aunque los valores extremos de viento mínimo y máximo favorecieron el aumento poblacional. Estos patrones concuerdan con lo reportado por Peña et al. (2020), quienes señalaron que el microclima juega un papel crítico en la regulación de ácaros invasores como *R. indica* y regula tanto su establecimiento como su dispersión en agroecosistemas.

El comportamiento poblacional del ácaro rojo de las palmas en relación con la HR X, VV X y las fases fenológicas se observa en la Figura 2. Se evidencia que la plaga presenta incrementos poblacionales en sincronía con las fases fenológicas críticas (floración y maduración del fruto) y en condiciones de mayor humedad relativa, mientras que la velocidad del viento juega un papel secundario. Estos resultados subrayan la importancia de calendarizar medidas de manejo integrado en periodos críticos de susceptibilidad del cultivo y condiciones microclimáticas favorables para la plaga.

Figura 2. *Comportamiento poblacional de R. indica en relación con las fases fenológicas, la humedad relativa y velocidad del viento promedios (HRX y VVX, respectivamente).*



El hecho de que la temperatura en general no presente efectos significativos podría deberse a que *R. indica* que posee un rango térmico de tolerancia relativamente amplio, en el cual las fluctuaciones de corto plazo no impactan de manera determinante.

García-Morales et al. (2022) observaron en plagas de frutales que los factores de humedad y fenología de la planta suelen ser más determinantes que la temperatura por sí sola, lo que coincide con lo registrado en este estudio y destaca la necesidad de integrar datos climáticos y fenológicos en modelos predictivos de dinámica poblacional, con vistas a optimizar el manejo de plagas en palmas datileras.

Este resultado señala la necesidad de incorporar el monitoreo fenológico y climático en los programas de manejo para este ácaro, de manera que las acciones de control se apliquen de forma oportuna en los periodos críticos de mayor vulnerabilidad del cultivo. Además, se aportan evidencias que fortalecen la comprensión de la ecología poblacional de *R. indica* en sistemas agrícolas del noroeste de México.

Conclusiones

Se confirma la presencia y establecimiento de *R. indica* en palma datilera, bajo condiciones de cultivo orgánico en el Ejido Jiquilpan (Valle de Mexicali). El comportamiento poblacional del ácaro indica que el manejo de la plaga debe centrarse en programar acciones en los periodos de floración y maduración del fruto, cuando las condiciones climáticas y fenológicas favorecen los incrementos poblacionales. Esto previene el impacto de *R. indica* como plaga emergente, y optimiza la aplicación de medidas de control en palmas datileras.

Referencias

Alananbeh, K. M., Araj, S.-E., y Al Taweel, H. M. (2019). *First record of Raoiella indica Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Jordan*. International Journal of Acarology, 45(4), 233–234. http://www.zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:A44D3E74-A69C-488C-8638-1B7EB1177146

Etienne, J. y Fletchmann, C.H.W. (2004) *First record of Raoiella indica (Hirst, 1924) (Acari: Tenuipalpidae) in Guadaloupe and Saint Martin, West Indies*. International Journal of Acarology, 32, 331–332.

García-Morales, R., Rodríguez, D., y López, A. (2022). *Influence of microclimatic factors on mite pests in subtropical crops*. Crop Protection, 152.

Global Invasive Species Database. (2025). *Raoiella indica (coconut mite, coconut red mite, frond crimson mite, leaflet false spider mite, red date mite, red palm mite, scarlet mite)*. IUCN. https://www.iucngisd.org/gisd/search.php

Hernández, J., Pérez, F., y Castillo, M. (2021). *Phenological synchronization of date palm and pest outbreaks: Implications for management*. Journal of Applied Entomology, 145(9), 857–867. https://doi.org/10.1111/jen.12889

Peña, J. E., Childers, C. C., y Duncan, R. E. (2020). *Biology and management of mites in tropical crops*. Experimental and Applied Acarology, 82, 1–20. https://doi.org/10.1007/s10493-020-00506-4

Ramos-Lima, M.y Ramírez -Ortega, F. (2024). R*eporte de Raoiella indica Hirst (Acari: Tenuipalpidae) en palma dátil en Baja California México.* Mexican journal of technology and engineering 3(2),25-31. https://doi.org/10.61767/mjte.003.2.2531

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2020). *Ácaro rojo de las palmas*. https://www.gob.mx/senasica/documentos/acaro-rojo-de-las-palmas

Zona Norte Noticias (ZNN). (2025). *Aumentó la producción de dátil en Valle de Mexicali*. Zona Norte Noticias. https://zonanorte.mx/main/mozaico/nid/2656.

Capítulo 77

Evaluación de producción y calidad de tres variedades de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de hidroponía

Ortega Yepiz Cristhian Misael[1*]
Vega Gregorio Lucero[1]
Ruiz Espinoza Francisco Higinio[1]
Coronado García Manuel Arturo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km. 5.5., CP 23085, La Paz, Baja California Sur, México. *corteg2_19@alu.uabcs.mx.

Resumen

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de alto potencial económico por ser un producto que se consume en muchas regiones del mundo. El objetivo de la presente investigación fue evaluar tres variedades de pepino tipo americano (Altaria, Poinset y Talladega) en condiciones de agricultura protegida (malla sombra). Posteriormente, tres semanas después de la siembra, se trasplantaron a macetas y se regó con solución nutritiva mediante un sistema automatizado programado con intervalos de 60 minutos. La cosecha se inició dos meses después del trasplante, con una frecuencia de cuatro días. Se tomaron las variables de rendimiento y calidad del fruto, obteniendo como resultado diferencias significativas en la variable grados Brix y rendimiento promedio de fruto. La variedad Altaria fue superior en grados Brix y la variedad Talladega fue superior en rendimiento.

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de alto potencial económico por ser un producto de exportación que se consume en muchas regiones del mundo; además, se cuenta con variedades de alto rendimiento y con prácticas de manejo que permiten maximizar su producción en invernadero (Sánchez et al., 2014). Debido a los costos altos de las instalaciones y manejo de la agricultura protegida, se han desarrollado prácticas agrícolas para maximizar el potencial del cultivo (Ortiz et al., 2009). Por tal razón, es necesario seleccionar variedades de alto rendimiento para tener éxito en un proyecto de alta inversión como lo es la producción en hidroponía. En los sistemas hidropónicos con sustrato inerte se aplica el riego por goteo con solución nutritiva (SN), que contiene todos los nutrientes esenciales para el óptimo desarrollo y crecimiento del cultivo. Para el cultivo de pepino, es necesario que el pH de la SN se encuentre en un rango de 5.5 a 6.5 y la conductividad eléctrica (CE) entre 1.5 y 3 dS·m-1; los nutrientes minerales deben estar en proporciones y concentraciones que eviten precipitados

(Adams, 2004). El experimento se enfocó en evaluar el rendimiento y calidad de fruto de tres variedades de pepino (Talladega, Altaria y Poinsett), en un sistema hidropónico de sustrato inerte en condición de agricultura protegida y SN (Steiner, 1961).

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Agrícola de la UABCS en La Paz, B.C.S., en una casa de malla con cobertura de 50 % de sombreado, ubicada en las coordenadas: 24°06'03.2"N 110°19'02.6"W. Las semillas fueron sembradas en vasos de poliestireno de 8 oz con 50 % de peatmoss y 50 % de arena; posteriormente, se trasplantaron en 24 macetas en un diseño completamente al azar, donde los tratamientos fueron las tres variedades (Altaria, Talladega y Poinset) de pepino. La composición de cada maceta fue una capa inferior de 2 L de grava y 16 L de sustrato, acumulando 18 L en un contenedor de 20 L (maceta). El sistema de riego fue por goteo automatizado, programado para operar de 8:00 a 18:00 h, con pulsos de dos minutos a intervalos de 60 minutos. Se utilizó la SN desarrollada por Steiner 1961. Cabe destacar que la primera cosecha se realizó a los dos meses después del establecimiento (Figura 1 y 2) y se repitió cada cuatro días. Las mediciones de diámetro de fruto fueron tomadas con vernier digital marca Stainless hardened, la longitud con cinta métrica, el peso del fruto con báscula Torrrey L-EQ) y los grados Brix con un refractómetro óptico.

Figura 1. *Selección de plantas para la cosecha.*

Figura 2. *Selección del fruto para la cosecha.*

El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos (variedades de pepino) y cuatro repeticiones, cada repetición conformada por dos plantas, un total de 24 plantas.

Tratamientos: T1 Variedad Talladega, T2 Variedad Poinset y T3 Variedad Altaria.

Variables evaluadas: 1) Rendimiento, 2) Diámetro promedio del fruto, 3) Longitud promedio del fruto, 4) Peso promedio del fruto, 5) Grados Brix.

Procesamiento de datos: Los resultados se analizaron con análisis de varianza, utilizando el programa Past versión 5.2; para la comparación de medias, en el caso de existir diferencia estadística, se utilizó la prueba de Tukey..

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los análisis de varianza. Solo dos variables mostraron diferencia significativa ($p < 0.5$) la variable peso promedio del fruto y grados Brix.

Cuadro 1. *Resultados de los análisis de varianza.*

Variables	Media (T1)	Media (T2)	Media (T3)	"F" Calculada	Valor critico de "F" (p=0.05)	Significación
Rendimiento (kg·planta^{-1})	2.82	3.90	2.89	1.09	4.26	NS
Diámetro (mm)	48.58	47.15	34.28	3.91	4.26	NS
Longitud (cm)	20.27	18.20	15.91	1.39	4.26	NS
Peso promedio del fruto (g)	290.57	235.49	268.97	4.53	4.26	*($p < 0.05$)
Grados °Brix	4.07	3.80	4.87	7.17	5.14	*($p < 0.05$)

En el Cuadro 2 se muestran los resultados para la variable peso promedio de frutos, donde se presentaron diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$): la variedad Talladega (T1) fue superior a las variedades Altaria y Poiset; la variedad Altaria (T2) fue la de valor medio, mientras que la variedad Poinset (T3) mostró el valor menor.

Cuadro 2. *Comparación de medias de la variable peso promedio de fruto con la prueba de Tukey.*

Tratamiento	Media	α= 0.05
1.- V. Talladega	290.56	A
3.- V. Altaria	268.97	B
2.- V. Poinset	235.49	C

En el Cuadro 3 se presentan los resultados para la variable grados Brix, donde hay diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). La variedad Altaria (T3) tuvo el mayor contenido de grados Brix; fue diferente a la variedad Poinset (T2). La variedad Talladega (T1) presentó diferencias numéricas respecto a la variedad Poinset (T2) y la variedad Altaria (T3). Los grados Brix indican la dulzura y madurez de frutas o verduras, para conocer el punto óptimo de cosecha, al igual que la calidad del producto final.

Cuadro 3. *Comparación de medias de la variable grados Brix con la prueba de Tukey.*

Tratamiento	**Media**	**α= 0.05**
3.- V. Altaria	4.86	A
1.- V. Talladega	4.06	Ab
2.- V. Poinset	3.80	B

Los resultados demuestran que la elección de la variedad de pepino en un sistema hidropónico tiene un impacto significativo en el peso y la calidad (dulzura) del fruto, incluso si otras variables de crecimiento no tienen variaciones significativas. Si el objetivo es maximizar el peso del fruto, Talladega es la variedad recomendada. Estudios como el de Rincón y colaboradores (2019), demuestran que la genética influye directamente en el peso del fruto. Algunas variedades, como Talladega, están genéticamente predispuestas a producir mayor biomasa, lo que resulta en frutos más grandes y con mayor peso. Sin embargo, sí la calidad sensorial (dulzura) es la prioridad, Altaria es la mejor opción. La dulzura se mide en grados Brix, y los estudios demuestran que la genética de cada variedad influye directamente en este valor, dado que investigaciones como la de Poveda y colaboradores (2020), confirman que algunas variedades, como Altaria, fueron seleccionadas por su alto contenido de azúcares. La inversión de semillas híbridas como Altaria y Talladega asegura la máxima expresión del potencial genético en términos de fruto, superando el rendimiento y la calidad que puede ofrecer una variedad más antigua como Poinset (Poveda et al., 2020).

Conclusiones

Se puede concluir que en un sistema hidropónico la selección de la variedad es una decisión estratégica para el productor, ya sea para maximizar el rendimiento o la calidad del fruto. Al considerar las variedades evaluadas, donde lo más importante es maximizar el peso del fruto, Talladega es la variedad recomendada. No obstante, si la calidad sensorial (dulzura) es la prioridad, Altaria es la mejor opción.

Referencias

Adams, P. (2004). *Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo.* En G. M. Urrestarazu (Ed.), Tratado de Cultivo sin Suelo. 81-111. Mundi-Prensa.

Ortiz, J., Sánchez, F., Mendoza, M., y Torres, A. (2009). C*aracterísticas deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población.* Revista fitotecnia mexicana, 32(4), 289-294. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0187-73802009000400007ylng=esytlng=es.

Poveda, L., López, D., y Garay, G. (2020). *Evaluación del crecimiento, rendimiento y calidad de tres híbridos de pepino (Cucumis sativus L.) en un sistema de producción hidropónico.* Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 14(2), 209-220.

Rincón-, L., Salgado, L., Hernández, J y Ramírez, M. (2019). *Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico.* Tecnología en Marcha, 32(1), 162-171.

Sánchez, F., González, L., Moreno, E., Pineda, J y Reyes, C. (2014). *Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva.* Revista fitotecnia mexicana, 37(3), 261-269. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0187-73802014000300013ylng=esytlng=es.

Steiner, A. (1961). *A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition*. Plant and Soil, 15(2), 134–154. https://doi.org/10.1007/BF01347224

Capítulo 78

Identificación de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) en la región Centro-Norte de Sinaloa, México

Valle Castillo Laura B.[1*]
López Orona Carlos A.[1]
Luna Cervantes Mara H.[2]
Arce Johnson Patricio[3]
Romero Romero Jesús L.[2]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Calle 16 y Avenida Japaraqui, CP 81110. Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México.* bettyvalle0@gmail.com.
[2] Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Sinaloa, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250 Col. San Joachin. CP. 81100, Guasave, Sinaloa, México.
[3] Universidad Autónoma de Chile. Del Valle sur, No. 534, Huechuraba, Santiago de Chile, Chile.

Resumen

En la actualidad, una de las principales limitantes en la agricultura mexicana son los nematodos fitoparásitos, los cuales ocasionan pérdidas que ascienden al 11 % de la producción global. En Sinaloa, los nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) afectan los cultivos de chile y reducen su rendimiento. El presente estudio evaluó la diversidad de nematodos agalladores en chile mini bell pepper en el municipio de Sinaloa de Leyva y chile jalapeño en el municipio de Guasave. Se cuantificó el número y tamaño de agallas en las raíces de las plantas, y se caracterizó a nivel morfológico y molecular la presencia de nemátodos. Como resultado, se identificó a *Meloidogyne enterolobii* en chile mini bell pepper y *Meloidogyne incognita* en chile jalapeño, mediante la amplificación de fragmentos de 750 pb y 1700 pb por PCR. Lo anterior evidencia la distribución diferencial de especies según región y tipo de cultivo. Estos hallazgos subrayan la importancia de caracterizar la diversidad de nematodos en el norte de Sinaloa para el diseño de estrategias de manejo fitosanitario.

Introducción

En Sinaloa, los nematodos agalladores son uno de los principales factores limitantes para el cultivo de chile, al inducir agallas en las raíces que afectan la absorción de agua y nutrientes, ocasionando reducciones significativas en rendimiento y calidad de los frutos (Rivas Valencia et al., 2023; Hernández Huerta et al., 2024). La caracterización morfológica de nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) asociados al cultivo de chile en Sinaloa ha permitido identificar como especies predominantes a *M. incognita*, *M. arenaria* y *M. javanica*. Complementariamente, análisis moleculares más recientes han confirmado la presencia de estas especies en diversas regiones hortícolas, lo que incluye la detección de M. enterolobii en zonas de Los Mochis, Culiacán, La Cruz y Escuinapa (Carrillo Fasio et al., 2020; Carrillo Fasio et al., 2021). Por lo anterior, identificar las especies de nemátodos agallado-

res asociados a dichos cultivos, así como su distribución y diversidad en la región, aporta significativamente a la sanidad de los campos, optimización de la producción agrícola y disminución del impacto económico asociado a esta plaga. El objetivo de este trabajo fue identificar la presencia de nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) en cultivos de chile de la región centro-norte del estado de Sinaloa, donde existe una notable falta de información sobre su presencia, lo que impacta en la redituabilidad del cultivo y la capacidad de implementar estrategias de manejo efectivas, así como el desarrollo de programas de prevención adaptados a dichas zonas.

Materiales y métodos

Colecta de material biológico, evaluación del número y tamaño de agallas

Muestras de raíces con presencia de agallas asociadas a nematodos se colectaron en dos predios agrícolas localizados en Guasave y Sinaloa de Leyva. La raíz agallada se transportó al laboratorio para sus análisis posteriores (Rosas Hernández, 2014). La cuantificación del número y tamaño de las agallas se efectuó empleando segmentos radiculares de 20 cm de longitud y, para la determinación del tamaño de las agallas, se midió individualmente la longitud de cada una de ellas presentes en el material vegetal y se utilizó un vernier con precisión milimétrica (Gifford et al., 2009).

Caracterización morfológica de nematodos fitopatógenos

La extracción de hembras de nematodos se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Rosas Hernández (2014) y los cortes perineales de las hembras de nematodos extraídas se efectuaron bajo un estereoscopio (Hajihassani et al., 2019). La caracterización de las especies de nematodos fitopatógenos se efectuó con base en claves antes descritas por Eisenback (1983) y Carrillo Fasio (2020).

Identificación molecular de nematodos

El ADN genómico de *Meloidogyne* spp. se obtuvo a partir de huevos, hembras y juveniles J2, según lo descrito por López Nicora y colaboradores en 2021. Para la amplificación por PCR se utilizaron los marcadores moleculares COII/16S con los cebadores C2F3 (5'-GGTCAATGTTCAGAAATTTGTGG-3') y 1108 (5´-TACCTTTGACCAATCACGCT-3'). Las muestras fueron incubadas en termociclador por 35 ciclos de reacción. Cada ciclo consistió en desnaturalización a 94°C por 45 segundos, alineamiento a 55°C durante 45 segundos, extensión a 72°C por 1 minuto y una fase de extensión final a 72°C durante 10 minutos (Martínez Gallardo et al., 2019).

Resultados y discusión

Las colectas se realizaron durante el ciclo agrícola 2022-2023 en un cultivo de chile mini bell pepper ubicado en Sinaloa de Leyva (25°49'14.4"N 108°19'53.5"W) y un cultivo de chile jalapeño establecido en Guasave (25°29'12.7"N 108°21'59.0"W). Las raíces de las plantas de chile colectadas en Sinaloa de Leyva presentaban un promedio de 13 agallas por cada 20 cm de raíz, con tamaños que iban de 0.03 mm a 0.55 mm de largo. En el caso de Guasave, las raíces de chile jalapeño mostraron un promedio de 8 agallas por cada 20 cm de raíz y su tamaño osciló entre los 0.04 cm a 2.10 cm de longitud. A partir de estas raíces se obtuvieron nematodos agalladores en diferentes estadíos de desarrollo, tales como hembras, huevos y juveniles J2.

Durante la caracterización morfológica de los especímenes extraídos de chile minni bell pepper, se observaron patrones que están asociados a *Meloidogyne enterolobii* (Figura 1) y *M. incógnita* para chile jalapeño (Figura 2). Durante la identificación molecular se distinguieron dos especies de nematodos agalladores: *Meloidogyne enterolobii* en Sinaloa de Leyva (750 pb) y M. incognita en Guasave (1700 pb); los resultados concuerdan con reportes previos en la región. En Sinaloa, el primer registro de M. enterolobii parasitando chile jalapeño fue documentado por Villar Luna y colaboradores (2016), lo que confirma la presencia de esta especie mediante análisis morfológicos y moleculares. De manera complementaria, Osuna Rodríguez y colaboradores (2025) reportaron a *M. incognita* infectando rocoto (*Capsicum pubescens*) en

Sinaloa, lo que demuestra la amplia distribución y adaptabilidad de esta especie en diferentes hospederos del género *Capsicum*.

Figura 1. *Patrón perineal observado en hembras de M. enterolobii aisladas de raíces de chile mini bell pepper. (A - C) Patrón perineal asociado a M. enterolobii. 1) Arco dorsal alto y redondeado; 2) Estrías laterales débiles; 3) Fasmidios grandes.*

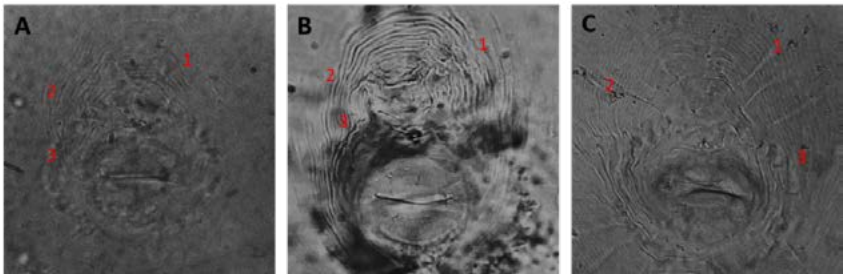


Figura 2. *Patrón perineal observado en hembras de M. incognita aisladas de raíces de chile jalapeño. (A - C) Patrón perineal asociado a M. incognita. 1) Arco dorsal alto y cuadrado; 2) Estrías lisas; 3) línea lateral.*

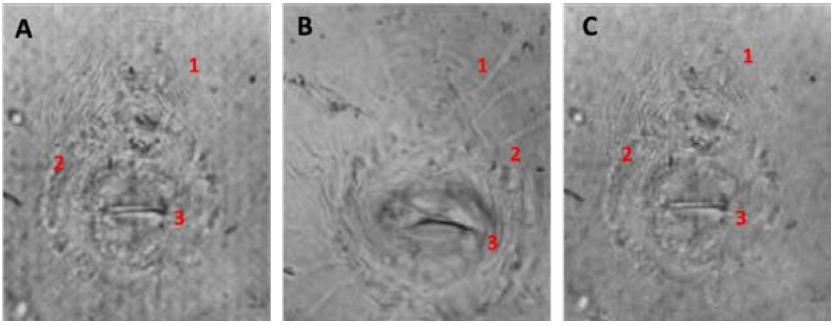


Figura 3. *Fragmentos amplificados por PCR con los primers C2F3/1108 en muestras de nematodos aislados de chile mini bell pepper. 1) Marcador de peso molecular (1 kb plus Ladder), 2-4) Control positivo (Meloidogyne chitwoodi) 520 pb, 5-6) Hembras 750 pb, 7-8) Huevos 750 pb, 9) Juveniles J2 750 pb.*

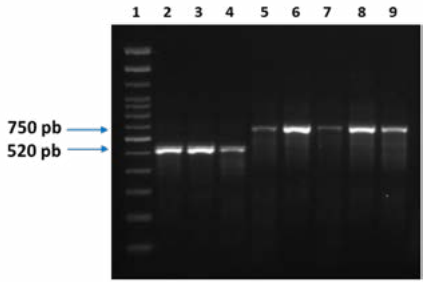
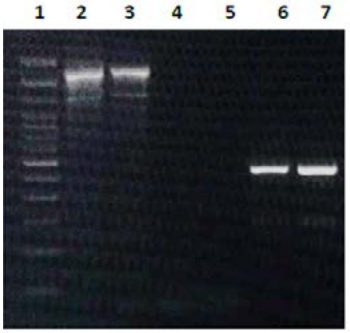


Figura 4. *Fragmentos amplificados por PCR con los primers C2F3/1108 en muestras de nematodos aislados de chile jalapeño. 1) Marcador de peso molecular (100 Kb plus Ladder), 2-3) huevos de nematodos 1700 pb, 4-5) control negativo, 6-7) control positivo (M. chitwoodi) 520 pb.*



Conclusiones

La coincidencia entre nuestros resultados y los antecedentes publicados sugiere que las poblaciones de *Meloidogyne* en Sinaloa presentan una distribución diferencial según la especie de chile y la región geográfica. Esta variabilidad en la composición de especies de *Meloidogyne* tiene implicaciones importantes para el manejo fitosanitario, ya que *M. enterolobii* es considerada una especie altamente virulenta capaz de superar genes de resistencia en *Capsicum*, mientras que *M. incognita* destaca por su amplia distribución y adaptabilidad a distintos agroecosistemas.

Referencias

Carrillo-Fasio, J. A., García-Estrada, R. S., Allende-Molar, R., Márquez-Zequera, I.. y Cruz-Ortega, J. E. (2000). *Identification and distribution of root-knot nematode species (Meloidogyne spp.) in vegetables in Sinaloa, Mexico.* Mexican Journal of Plant Pathology, 18(2), 115-119. https://doi.org/10.1007/s40858-020-00400-6

Carrillo-Fasio, J. A., Angúlo-Castro, A., Martínez-Gallardo, J. Á., Ayala-Tafoya, F., Yáñez-Juárez, M. G., y Retes-Manjarrez, J. E. (2021). *Distribution and incidence of root-knot nematodes (Meloidogyne spp.) on pepper in Sinaloa, Mexico.* Tropical Plant Pathology, 46, 195-200. https://doi.org/10.1007/s40858-020-00400-6

Eisenback, J.D., Hirschmann, H., Sasser, J.N. y Triantaphyllou, A.C. (1983). *Guide to the identification of the four most common species of root-knot nematode (Meloidogyne species), with a pictorial key.* Department of Plant Pathology, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.

Gifford, M. L., Dean, A., y Beveridge, C. A. (2009). *Differing requirements for flavonoids during the formation of lateral roots, nodules and root knot nematode galls in Medicago truncatula.* New Phytologist, 183(4), 1069–1082. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02850.x

Hernández-Huerta, J., Gámez-Vázquez, A. J., Rivas-Valencia, P., y Cervantes-Díaz, L. (2024). *First report of Meloidogyne incognita infecting Capsicum pubescens in Sinaloa, Mexico.* Plant Disease, 108(2), 761. https://doi.org/10.1094/PDIS-06-23-1230-PDN

Hajihassani, A., Davis, R., y Timper, P. (2019). *Evaluation of selected nonfumigant nematicides on increasing inoculation densities of Meloidogyne incognita on Cucumber.* Plant Dis. (12) 3161-3165. doi: 10.1094/PDIS-04-19-0836-RE.

López-Nicora, H.D., Soilán-Duarte, L.C., Caballero-Mairesse, G.G., Grabowski-Ocampos, C.J. y Enciso-Maldonado, G.A. (2021). *Agricultural Nematology Manual.* Fundamentals and Procedures. 1st Edition. Publisher: Universidad San Carlos. Editor: Atlas. ISBN: 978-99925-273-6-8. DOI:10.53997/DFXA5914

Martinez-Gallardo J.A., Díaz-Valdés T., Allende-Molar R., Retes-Manjarrez J.E. and Carrillo-Fasio J.A. (2019). *Identification and distribution of Meloidogyne spp. in tomato in Sinaloa, Mexico.* Mexican Journal of Agricultural Sciences. 10(2). https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.392

Osuna-Rodríguez, P., Rivas-Valencia, P., Hernández-Huerta, J., y Cid del Prado-Vera, I. (2025). *First report of Meloidogyne incognita infecting Capsicum pubescens in Sinaloa, Mexico.* Plant Disease, 108(2). https://doi.org/10.1094/PDIS-06-23-1230-PDN

Rivas-Valencia, P., Torres-Bautista, R., Guzmán-Plazola, R. A., y Cid del Prado-Vera, I. (2019). *Identificación y distribución de Meloidogyne spp. en tomate de Sinaloa, México.* Revista Mexicana de Fitopatología, 37(2), 231–246. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1903-5

Rosas-Hernández, L., Ramírez-Suárez, A., Alcasio-Rangel, S. y Morales-Galván, O. (2014). *Diagnosis and phylogenetic analysis of the burrowing nematode Radopholus similis on Banana (Musa paradisiaca L.).* Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal. SENASICA-SAGARPA.

Villar Luna, R., Guzmán Plazola, R. A., Cid del Prado Vera, I., y Torres Bautista, R. (2016). *First report of Meloidogyne enterolobii infecting jalapeño pepper in Sinaloa, Mexico.* Journal of Nematology, 48(2), 121–123. https://doi.org/10.21307/jofnem-2016-037

Capítulo **79**

Frecuencia de fertilización en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Rico Sánchez Marcos Antonio[1*]
Alonso Castro Jose Octavio[1]
Zamora-Salgado Sergio[1]
Ruiz Espinoza Francisco Higinio[1]
Beltrán Morales Félix Alfredo[1]
Murillo Chaidez Ramón Alejandro[1]
Méndez Garfias Consuelo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur, Área interdisciplinaria de Ciencias Agropecuarias, Departamento Académico de Agronomía. *mrico_22@alu.uabcs.mx.

Resumen

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) es de gran importancia en la horticultura mexicana, particularmente en Baja California Sur, donde tanto las condiciones del suelo y clima como el uso de sistemas de agricultura protegida impulsan su producción. El presente trabajo se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Baja California Sur, bajo condiciones de casa sombra, con el propósito de evaluar cómo influye la frecuencia de fertilización en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Se aplicaron cinco tratamientos: fertilización cada 3, 6, 12 y 30 días, además de un testigo sin fertilización, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se registraron variables como altura de planta, grosor del tallo, longitud y diámetro del fruto, así como el rendimiento por hectárea. Los resultados indicaron que la fertilización cada 6 días promovió un desarrollo más vigoroso de las plantas y un mayor rendimiento (54 737.5 kg ha^{-1}), mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos ($p \leq 0.05$). El testigo, por su parte, alcanzó el menor rendimiento (29 332.5 kg ha^{-1}). En conclusión, se determinó que una frecuencia intermedia de fertilización, ajustada a las demandas del cultivo, mejora la eficiencia nutrimental y la productividad del pepino bajo condiciones de agricultura protegida.

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) en México ocupa un lugar destacado dentro del sector hortícola, siendo Baja California Sur uno de los estados que ha logrado posicionarse como importante productor gracias a sus condiciones climáticas favorables y a la implementación de tecnologías agrícolas como sistemas de agricultura protegida (Echanove, 2010). La producción del cultivo de pepino está orientada en gran medida a la exportación, especialmente hacia Estados Unidos y Canadá, lo que le otorga un papel estratégico en la entrada de divisas y generación de empleos en el sector

agrícola (Diédhiou, 2017). Esta dinámica ha convertido al cultivo en un eje estratégico para el desarrollo económico regional, lo que promueve inversiones en infraestructura agrícola y fortalece la competitividad del campo sudcaliforniano. Un manejo adecuado de estos factores minimiza el impacto ambiental asociado al uso excesivo de agroinsumos (Murillo Amador, 2009). Una correcta dosis y frecuencia de fertilización permite aumentar el rendimiento y calidad final del cultivo de pepino. Tal como reporta Jun 2025, quien realizó una investigación en Indonesia sobre el pepino (*Cucumis sativus* L.), en la cual se aplicaron tres niveles de fertilización NPK, combinados con tres tipos de acolchado. Los resultados mostraron que la máxima producción de frutos, peso de fruto y rendimiento por planta y por hectárea se logró con 300 kg NPK/ha y acolchado de paja en condiciones de casa sombra. Pese a que existen estudios sobre la aplicación de diferentes dosis de fertilización, las investigaciones referentes a la frecuencia son escasas. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar la frecuencia de fertilización sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de casa sombra.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en una casa sombra ubicada en el campo agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), campus La Paz. Con coordenadas 24°10' de latitud norte y 110°19' de longitud oeste, a una altitud de 18 metros sobre el nivel del mar. Se establecieron cinco tratamientos con cuatro repeticiones bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar. Los tratamientos fueron la frecuencia de aplicación de fertilizantes: T1: 3 días, T2: 6 días, T3: 12 días, T4: 30 días y T5, considerado como testigo, no tuvo aplicación. Se utilizó la dosis de fertilización recomendada por Jilani et al. (2009): 100 kg ha^{-1} de nitrógeno, 50 kg ha^{-1} de fósforo, 50 kg ha^{-1} de potasio, y se consideró una densidad de 25 mil plantas por hectárea. La siembra se realizó en charola germinadora el día 25 de febrero para su trasplante, transcurrido un mes, en macetas de 29.5 cm de diámetro y 36 cm de alto. Se llenaron con suelo del campo agrícola de la UABCS, caracterizado por una textura migajón arenoso con una densidad aparente de 1.45 g/cm^3, una capacidad de cam-

po de 13,25 % y un punto de marchitamiento permanente de 7,88 %. Para la aplicación del agua del riego se estableció un sistema de goteo y se colocó un emisor por maceta con un gasto de 4 litros por hora (LPH). Previo al trasplante, se llevó el suelo a capacidad de campo. Los riegos subsecuentes se aplicaron con un tiempo de dos minutos con intervalos de dos horas. Para la fertilización se utilizó urea, MAP, sulfato de potasio y nitrato de calcio. Se realizó un tutorado cuando la planta alcanzó una altura de 40 cm y se dio seguimiento a la presencia de plagas y enfermedades durante el periodo. Las variables consideradas para la evaluación fueron: altura de la planta, diámetro del tallo, longitud y diámetro del fruto, así como el rendimiento. Para el ANOVA se utilizó el paquete estadístico de la Universidad de Nuevo León con una comparación de medias de Tukey 0.05.

Resultados

La Figura 2 muestra imágenes del desarrollo del cultivo y de las plagas que se presentaron durante el periodo: mosquita blanca (*Aleyrodidae*), pulgón (*Mysus persicae*) y araña roja (*Tetranychus urticae*). Para su control se aplicó Cytrin 200 y extracto de neem.

El Cuadro 1 muestra los valores de las variables consideradas en el experimento. Se observa que, en variables de altura de la planta y diámetro del tallo, el tratamiento T2 (frecuencia de 6 días) mostró una planta más vigorosa: menos altura que el tratamiento T1, pero más grosor del tallo, lo que se refleja en el rendimiento obtenido.

Cuadro 1. *Resultados obtenidos de las variables consideradas.*

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Longitud del fruto (cm)	Diámetro del fruto (cm)	Rendimiento (Kg ha-1)
T1	194.00	11.15	18.20	3.83	37275.00
T2	181.50	11.85	17.56	3.39	54737.50
T3	161.00	10.66	15.94	3.93	40061.00
T4	169.00	10.81	18.30	4.17	37030.75
T5	190.33	10.83	16.53	3.62	29332.50

Al realizar el ANOVA para el rendimiento, se utilizó el paquete estadístico de la UANL. El resultado, a un nivel de significancia al del 5 %, es de 0.017 y se refleja en la Figura 3. Los resultados confirman que un manejo nutricional adecuado, ajustado a las necesidades del cultivo y a las condiciones edafoclimáticas, permite optimizar la productividad y reducir riesgos asociados a deficiencias nutrimentales.

Conclusiones

Se concluye que la frecuencia de fertilización cada 6 días optimiza el crecimiento y el rendimiento del pepino en condiciones de casa sombra, al promover un desarrollo vegetativo balanceado y una mayor productividad. Esta frecuencia resultó estadísticamente superior a intervalos más cortos (3 días), más largos (12 y 30 días) y al testigo sin fertilización. Por lo tanto, se recomienda adoptar intervalos de fertilización intermedios y ajustados a las etapas fenológicas del cultivo como práctica para mejorar la eficiencia nutrimental y la rentabilidad del pepino en sistemas de agricultura protegida.

Referencias

Echanove F. 2010. *Agribusiness and Contract Farming: The Case of Small-Scale Cucurbur Producers in Mexico.* Iberoamericana-Nordic Journal of Latin American and Caribbean Studies, 39,1-2,75.

Diédhiou I. (2017). *Respuesta del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) a la aplicación de abonos orgánicos con diferentes tiempos de fermentación.* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]

Murillo-Amador B. (2009). *Inteligencia de mercado: pepino (Primera etapa del proyecto SAGARPA-CONACYT 2009-II-126183).* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).

Jlani M., Bakar A., Waseem K. and Kiran M. (2009). *Effect of different levels of NPK on the growth and yield of cucumber (Cucumis sativus) under the plastic tunnel.* J. Agric. Soc. Sci, 5, 99–101. https://doi.org/10.55544/jrasb.3.5.7

Gajali G., Subaedah S. and Saida, S. (2025). *Response of growth and yield of cucumber (Cucumis sativus L.) to NPK fertilizer application and mulch treatment.* Agrogenesis Journal of Sustainable Agriculture and Innovation, 1(1), 86-99.

Capítulo **80**

Rendimiento de cártamo tipo oleico en dos ciclos agrícolas en el valle de culiacán

Cota Barreras Carlos I.[1*]
Márquez Godoy Jaime N.[1]
Ramírez Soto Milagros[1]
Gutiérrez Gutiérrez Obed G.[1]
Ochoa Espinoza Xochilt M.[2]
Aguilera Molina Néstor A.[2]
Ávila Casillas Eva[3]
Pérez Márquez Jesús[1]
Navejas Jiménez Jesús[4]

[1] C.E. Valle de Culiacán CIRNO-INIFAP. *cota.carlos@inifap.gob.mx.
[2] C.E. Norman E. Borlaug CIRNO-INIFAP.
[3] C.E. Valle de Mexicali CIRNO-INIFAP.
[4] C.E. Todos Santos CIRNO-INIFAP.

Resumen

En 2024, México se ubicó como cuarto productor de cártamo (Carthamus tinctorius L.) con una producción de 67 760 toneladas a nivel mundial. Siendo Sonora, Jalisco y Sinaloa los principales estados productores de esta oleaginosa. La importancia de este cultivo radica en su contenido de aceite, el cual contiene dos ácidos grasos insaturados principales: oleico y linoleico. La meta fundamental de los programas de mejoramiento ha sido desarrollar nuevas variedades con mayor rendimiento de grano y contenido de aceite. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento de diferentes genotipos de cártamo en dos ciclos agrícolas en el Valle de Culiacán. El trabajo se realizó dentro de las instalaciones del Campo Experimental Valle de Culiacán y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), donde se evaluaron 15 genotipos de cártamo oleico en dos ciclos agrícolas (2022-2023 y 2023-2024). Para la siembra se utilizó un arreglo de bloques completamente al azar con tres repeticiones. La variable a evaluar fue rendimiento en toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$). Los datos obtenidos de los genotipos en los dos ciclos agrícolas se analizaron mediante el programa estadístico SAS. Los genotipos de mayor rendimiento en promedio de dos ciclos corresponden a CC1635-1-1-1-1Y, CIANO OL, C63-0Y y C62-MOC con valores de 2.0107, 2.148, 2.3557 y 2.5805 t ha^{-1}. Con base en su rendimiento, los genotipos sobresalientes fueron C62-MOC, C63-0Y, CIANO OL y CC1635-1-1-1-1Y, superando a testigos comerciales como S-323 y M-CW-3268.

Introducción

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) es un cultivo oleaginoso anual perteneciente a la familia Asteraceae (La Bella et al., 2019). En el 2024, México ocupó el cuarto lugar a nivel mundial en producción de cártamo, con un volumen de producción de 67 760 toneladas (t), con Sonora, Jalisco, Sinaloa, Michoacán y

San Luis Potosí como los principales estados productores de esta oleaginosa (SIAP, 2025). Este cultivo se caracteriza por su amplia adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas, ya que puede desarrollarse satisfactoriamente en condiciones limitadas de agua, suelos de baja fertilidad y ambientes con variaciones de temperatura (Mousavi et al., 2020). El valor nutricional del aceite de cártamo es similar al del aceite de oliva, lo que incrementa su importancia para el consumo humano. Su composición está determinada por dos ácidos grasos insaturados principales: linoleico y oleico, que en conjunto representan el 90 % del contenido total, mientras que el resto corresponde principalmente a los ácidos palmítico y esteárico (la Bella et al., 2019). En programas de mejoramiento genético, la prioridad ha sido el desarrollo de variedades con mayor rendimiento de grano y contenido de aceite. Como resultado, diferentes evaluaciones han permitido identificar variedades con características superiores en rendimiento y aceite (Kahraman, 2025). Por tanto, el objetivo del estudio es evaluar el rendimiento de diferentes genotipos de cártamo oleico en dos ciclos agrícolas en el Valle de Culiacán.

Materiales y métodos

Se evaluaron 15 genotipos de cártamo (SEMAY OL, HUATSON OL, CHEY OL, S-323, C62-MOC, C45-2-MOC, M-CW-3268, Palo Rojo, C63-1-MOC, CCC1651-1-1-1-2-0Y, C63-0Y, AS-23, CC1777-1-1-0Y, CC1635-1-1-1-1Y y CIANO OL) provenientes del Programa de Mejoramiento Genético de Cártamo del Campo Experimental Norman E. Borlaug. El experimento se realizó en las instalaciones del Campo Experimental Valle de Culiacán (INIFAP), Sinaloa; localizado a los 24.630167 latitud norte y -107.442881 longitud oeste, en los ciclos agrícolas otoño-invierno 2022-2023 y 2023-2024.

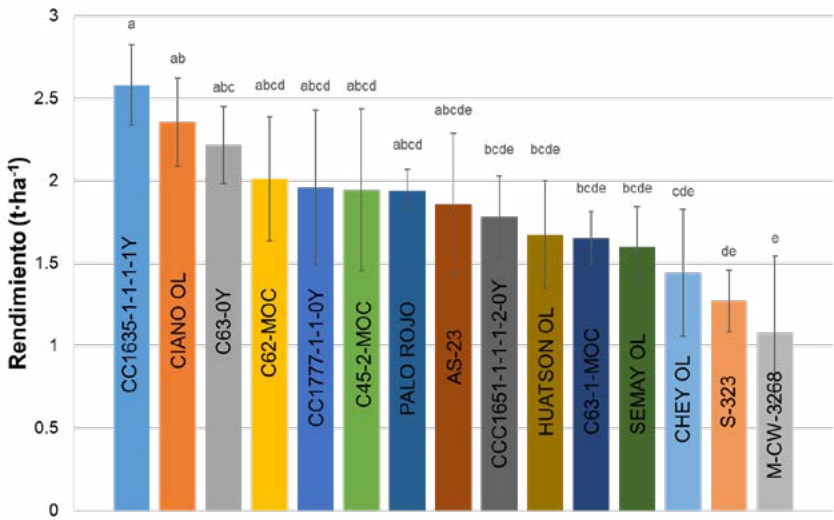
Las siembras se realizaron el 13 de diciembre de 2022 y el 24 de noviembre de 2023 en húmedo y de forma manual. El método de siembra fue a hilera sencilla, con una distancia entre surcos de 0.75 m y una densidad de 15 semillas por metro lineal en cada genotipo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar. La dimensión total de la parcela experimental fue de cuatro surcos de 6 m de largo y 3 m de ancho (18 m^2) con tres repeticiones. La parcela útil constó de dos surcos de 5 m de largo y 0.75 m de ancho (7.5 m^2). La variable evaluada en ambos ciclos fue rendimiento en toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$).

Para evaluar las diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en el rendimiento entre los tratamientos y los ciclos agrícolas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) entre los factores evaluados. Una vez detectadas las diferencias ($P < 0.05$), se realizó una comparación de medias mediante la prueba Tukey y se utilizó un $\alpha = 0.05$. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS (SAS, 2014).

Resultados y discusión

Con base en el análisis estadístico, estadísticamente los genotipos que mostraron mayor rendimiento en un promedio de dos años de evaluación fueron: CC1635-1-1-1-1Y, CIANO OL, C63-0Y y C62-MOC con valores de 2.0107, 2.148, 2.3557 y 2.5805 t·ha^{-1}, respectivamente (Figura 1). Ochoa et al. (2024) evaluaron 14 genotipos de cártamo en el ciclo 2023-2024, de los cuales 12 de ellos coinciden con los genotipos evaluados en el presente estudio; los genotipos sobresalientes fueron C-45-2-MOC, S-323, HUATSON-OL y AS-23 con rendimientos desde 2.526 hasta 2.971 t·ha^{-1}, siendo valores superiores comparados con nuestros genotipos sobresalientes. Cabe destacar que Ochoa et al. no evaluaron CC1635-1-1-1-1Y y CIANO OL. En un estudio realizado en el ciclo 2023-2024 por Ávila et al. (2024), determinaron el rendimiento de 12 genotipos de cártamo y coincidieron con 12 de nuestros 15 genotipos, donde en sus resultados no presentaron diferencia significativa en la variable de rendimiento. Sin embargo, en estos resaltan genotipos como M-CW-3268, C63-1-MOC, SEMAY-OL y C63-0Y con valores desde 2.705 hasta 2.851 t·ha^{-1}, en los cuales son superiores a los mismos genotipos evaluados en el presente estudio. Cabe mencionar que los resultados de las mencionadas investigaciones son resultados de un solo ciclo agrícola y no de dos, como en este estudio.

Figura 1. *Rendimiento promedio de 15 genotipos de cártamo tipo oleico en dos ciclos agrícolas (2022-2023 y 2023-2024).*
[abc] literales diferentes en columna representan diferencias estadísticas (P < 0.05).



Conclusiones

Los genotipos sobresalientes, después de ser evaluados dos ciclos, fueron CC1635-1-1-1-1Y, CIANO OL, C63-0Y y C62-MOC, con rendimientos de 2.5805, 2.3557, 2.2148 y 2.0107 t·ha-*1*, logrando que el Programa de Mejoramiento Genético de Cártamo obtenga resultados favorables en la generación de nuevos genotipos con base en rendimiento, superando así a testigos comerciales como S-323 y M-CW-3268. Se recomienda seguir evaluando líneas élites como CC1635-1-1-1-1Y, C63-0Y y C62-MOC.

Referencias

Ávila, C. E., Camarillo, P. M., Aguilera, M. N., Ochoa, E. X., García, B. E. y Cota, B. C. (2024). *Evaluación de líneas elite de cártamo (Carthamus tinctorius L.) de tipos oleicas, en el Valle de Mexicali, B. C.* Memoria XXVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali. B. C. p. 791.

Kahraman, Ş. (2025). *Determination of Yield and Quality in Some Safflower (Carthamus tinctorius L.) Cultivars Under Diyarbakır Ecological Conditions.* Anadolu, J. of AARI 35. 1, 1-7.

La Bella, S., Tuttolomondo, T., Lazzeri, L., Matteo, R., Leto, C. and Licata, M. (2019). *An Agronomic Evaluation of New Saffower (Carthamus tinctorius L.) Germplasm for Seed and Oil Yields under Mediterranean Climate Conditions Agronomy* 9(468): 1-16. https://doi.org/10.3390/agronomy9080468.

Mousavi, O. S. M., Mozafari, H., Jabbari, H. y Sani, B. (2020). *Evaluation of yield of safflower (Carthamus tinctorius L.) genotypes under semi-arid conditions.* Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization; 1-8. https://doi.org/10.1017/S1479262120000301.

Ochoa, E. X M., Aguilera, M. N. A., García, B. E. H., Ávila, C. E., Cota, B. C. I. y Navejas, J. J. (2024). *Validación de líneas elite y variedades de cártamo (Carthamus tinctorius L.) en el Valle del Yaqui.* Memoria XXVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, Mexicali. B. C. p. 775.

SAS Institute Inc. (2014). *SAS-Statistical Analysis Software for Windows Version 9.4M2.* Cary, NC: SAS Inst. Inc.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Panorama Agroalimentario – La ruta de la Transformación Agroalimentaria 2018-2024.* Agricultura. Consultado el 15 de Agosto de 2025.

Capítulo **81**

Yodo y selenio en el crecimiento de *Lactuca sativa* hidropónica bajo luz artificial

Castro Rubio Heidi Maribel[1]
Estrada Acosta Mitzy Dayanira[1]
Amarillas Bueno Luis Alfonso[1]
González Balcázar Antonio[1]
Rubio Aragón Walter Arturo[1]
Armenta Ayala José Oscar[1]
Angulo Castro Azareel[1*]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5. C. P. 80000. Culiacán, Sinaloa, México. *azareel.angulo@uas.edu.mx.

Resumen

La hidroponía se posiciona como una estrategia eficiente para la producción de hortalizas al permitir un control preciso de agua y nutrientes. La lechuga constituye un modelo ideal para la biofortificación con yodo (I) y selenio (Se), oligoelementos esenciales para la salud humana, cuya deficiencia provoca problemas de salud humana. La incorporación de estos elementos en soluciones nutritivas no solo mejora el valor nutracéutico de las plantas, sino que también optimiza su crecimiento, fotosíntesis y tolerancia al estrés oxidativo. La biofortificación hidropónica representa, así, un enfoque simultáneamente nutricional y agronómico. El presente estudio se desarrolló en condiciones controladas en cámara de crecimiento con luz artificial y evaluó tres niveles de aplicación de I (30, 40 y 50 µM de yoduro de potasio (KI) y tres de Se (10, 20 y 30 µM de selenito de sodio Na_2SeO_4), bajo un arreglo factorial con seis repeticiones. Se midieron número de hojas (NH), peso fresco (PFH) y seco de hojas (PSH), y volumen radical (VR) en plantas de lechuga. Los resultados mostraron que 30 µM de I promovió el crecimiento en número de hojas y peso fresco, 3,19 % y 7,09 % respectivamente, mientras que 50 µM favoreció el peso seco en un 4,06 %. En el caso del Se, la dosis de 10 µM resultó en incrementos significativos en todas las variables, en contraste con los niveles de 20 y 30 µM, que redujeron el desarrollo en 24,10 % NH, 50,97 % PFH, 25,56 % VR y 48,05 % PSH. La interacción más favorable fue 50*10 µM, la cual generó una mayor biomasa y un desarrollo foliar. Se concluye que la biofortificación controlada con yodo y selenio puede ser una estrategia viable para mejorar simultáneamente el rendimiento agronómico y la calidad nutracéutica de la lechuga.

Introducción

La hidroponía se consolida como método eficiente para producir hortalizas, ofreciendo control preciso de agua y nutrientes. La lechuga, por

su rápido ciclo y alta demanda, constituye un modelo ideal para ensayos de biofortificación con oligoelementos (Martínez-Alcántara et al., 2016). El yodo y el selenio, incorporados en soluciones nutritivas, son esenciales para la salud humana. El yodo regula hormonas tiroideas y el selenio actúa como antioxidante y modulador inmunológico, mejorando el valor nutracéutico de los cultivos hidropónicos (White y Broadley, 2009; Schiavon y Pilon-Smits, 2017). Su deficiencia es común en la población debido a la baja disponibilidad en los suelos, lo que repercute en problemas de salud pública como hipotiroidismo y alteraciones metabólicas (Combs, 2001). Además de su importancia nutricional para el ser humano, diferentes estudios han mostrado que la adición de yodo y selenio en soluciones nutritivas puede estimular el crecimiento vegetal, al mejorar procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la eficiencia en el uso de nutrientes y la tolerancia al estrés oxidativo (Blasco et al., 2015; Smoleń et al., 2016). En lechuga, estos elementos han demostrado favorecer el desarrollo foliar y la acumulación de compuestos antioxidantes, lo que contribuye tanto al rendimiento agronómico como a la calidad nutracéutica. Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo conocer el efecto que produce la aplicación de yodo y selenio mediante solución nutritiva en el crecimiento de lechuga.

Materiales y métodos

Se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Anatomía Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México. Se utilizó una cámara de crecimiento con condiciones de temperatura (máximas promedio alrededor de 31°C y mínimas de 14°C), humedad relativa (promedio 36 %), bióxido de carbono ambiental y un fotoperiodo de 12/12 horas a un PPFD de 350 µmol m-2 s-1 medido por encima de las plantas con un sensor 190 SB, LI-COR Inc. (Lincoln, NE, USA). El material vegetal consistió en plantas de lechuga italiana roja (variedad Ruby Sky Rz). La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades, rellenas con turba. Cuando las plantas desarrollaron las primeras cinco hojas verdaderas, se trasplantaron en maceteros individuales de dos litros de volumen, los cuales contenían vermiculita. Las plantas

fueron sometidas a una solución nutritiva de Steiner, administrada una vez al día hasta alcanzar un drenaje del 20 % con respecto al volumen de solución aplicada, con una conductividad eléctrica de 1.8 mS cm^{-1} y un pH de 6.0. Se probaron tres niveles de aplicación de yodo en forma de yoduro de potasio (30, 40 y 50 µM L^{-1}) y tres niveles de aplicación de Se en forma de Na_2SeO_4 (10, 20 y 30 µM L^{-1}), los cuales fueron adicionados a la solución nutritiva de Steiner. En el experimento se evaluaron nueve tratamientos producidos por la estructura factorial básica (Factor 1 con aplicación de KI y Factor 2 con la aplicación de Na_2SeO_4). Se utilizó un diseño completamente al azar con seis repeticiones; la unidad experimental correspondió a una planta de lechuga. Después de 45 días del trasplante, las plantas fueron evaluadas y cosechadas; se les midió el número de hojas, el volumen radical, el peso fresco y seco de hojas. Para determinar el volumen radical, se utilizó la técnica de desplazamiento de agua y se expresó en cm^3. El peso seco de las hojas se obtuvo tras secar (70°C y 72 h) y pesarlas en una balanza analítica y se expresó en g. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (Statistical Analysis System, 2002). Se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Cuadro 1. *Número de hojas, peso fresco de hojas, volumen radical y peso seco de hojas de lechuga por efecto de la adición de yodo, selenio y su interacción, en un sistema de producción hidropónico e iluminación LED blanca.*

Factor	NH	PFH (g)	VR (cm^3)	PSH (g)
Yodo (µM L-1 KI)				
30	21.94a	34.25a	22.13a	2.41b
40	21.33b	31.82c	20.27a	2.36c
50	21.24c	32.35b	19.94a	2.46a
Selenio (µM L-1 Na_2SeO_4)				
10	24.68a	47.12a	24.88a	3.35a
20	21.11b	28.20b	18.52b	2.13b
30	18.73c	23.10c	18.94b	1.74c
Yodo x Selenio				
30*10	24.50b	49.37a	25.66a	3.36b

Factor	NH	PFH (g)	VR (cm^3)	PSH (g)
30*20	21.50d	32.23d	22.91abc	2.26d
30*30	18.00i	21.14i	17.83abc	1.61i
40*10	20.20c	43.83c	24.00abc	3.14c
40*20	21.33e	27.88e	16.83bc	2.27e
40*30	19.20g	23.75h	20.00abc	1.72h
50*10	26.33a	48.15b	25.00ab	3.56a
50*20	20.50f	24.49f	15.83c	1.90g
50*30	19.00h	24.42g	19.00abc	1.91f

*NH (Número de hojas), PFH (Peso fresco de hojas), VR (Volumen radical), PSH (Peso seco de hojas). Medias con letras iguales en cada columna y cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

La aplicación de yodo y selenio influyó significativamente en el número de hojas, peso fresco de hojas, volumen radical y peso seco de hojas. La dosis de 30 µM de yodo promovió un incremento de 8 a 12 % en NH, PFH y VR en comparación con las concentraciones de 40 y 50 µM, mientras que 50 µM de yodo favoreció el peso seco de hojas con un aumento cercano al 4 %. En cuanto al selenio, la concentración de 10 µM de selenio estimuló significativamente el crecimiento y la biomasa, con incrementos de 40 a 60 % en todas las variables respecto a las dosis de 20 y 30 µM, que provocaron reducciones progresivas. La interacción entre ambos elementos evidenció un efecto sinérgico en las combinaciones de 50 µM de yodo y 10 µM de selenio, con aumentos de hasta 50 % en peso fresco de hojas y 40 % en peso seco de hojas, reflejando una respuesta fisiológica y productiva notablemente superior. Estos hallazgos son congruentes con lo señalado por Germ et al. (2007), quienes indican que dosis reducidas de Se favorecen la fotosíntesis y el metabolismo de carbohidratos en la lechuga, mientras que las dosis elevadas generan estrés oxidativo. De manera similar, Blasco et al. (2015) identificaron que el yodo tiene la capacidad de incrementar la eficiencia fotosintética y el contenido de clorofila, lo que justifica el rendimiento con 30 µM de yodo. Esta combinación de ambos elementos en dosis bajas coincide con Smoleń et al. (2016), quienes reportaron efectos beneficiosos en la acumulación de antioxidantes y la tolerancia al estrés.

Conclusiones

La incorporación de yodo y selenio en hidroponía optimiza el rendimiento de la lechuga al ser aplicados en dosis moderadas de I (30-50 µM) y bajas de Se (10 µM). En cambio, las dosificaciones elevadas pueden provocar efectos fitotóxicos, lo cual se manifiesta en una disminución del desarrollo de la planta. La biofortificación controlada con oligoelementos podría representar una estrategia sostenible para la producción de hortalizas de calidad y beneficios para la salud humana.

Referencias

Blasco, B., Rios, J. J., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Ruiz, J. M., y Romero, L. (2015). *Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health.* Annals of Applied Biology, 156(1), 145-151.

Combs, G. F. (2001). S*elenium in global food systems.* British Journal of Nutrition, 85(5), 517-547.

Germ, M., Stibilj, V., y Osvald, J. (2007). *Selenium treatment affects the photosynthesis and carbohydrate metabolism in lettuce (Lactuca sativa L.).* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(3), 795-801.

Golob, A., Novak, T., Maršić, N. K., y Germ, M. (2021). *Biofortification with iodine and selenium affects the production and storage of chlorophyll in lettuce plants.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(3), 1008–1017.

Martínez-Alcántara, B., Iglesias, D. J., y Primo-Millo, E. (2016). *El cultivo sin suelo en horticultura: fundamentos y aplicaciones.* Horticultura Internacional, 27(1), 10-19.

Schiavon, M., y Pilon-Smits, E. A. H. (2017). T*he fascinating facets of plant selenium accumulation-biochemistry, physiology, evolution and ecology.* New Phytologist, 213(4), 1582-1596.

Smoleń, S., Kowalska, I., y Sady, W. (2016). *Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system.* Scientia Horticulturae, 213, 208-218.

Statistical Analysis System (2002). *User´s guide. Version 9.4* Cary, N. C. USA.

White, P. J., y Broadley, M. R. (2009). *Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine.* New Phytologist, 182(1), 49-84.

Capítulo **82**

Rendimiento y peso de semilla de 25 genotipos de frijol azufrado

Cota Barreras Carlos I.[1*]
Márquez Godoy Jaime N.[1]
Ramírez Soto Milagros[1]
Gutiérrez Gutiérrez Obed G.[1]
Sauceda Acosta Raúl H.[2]
García Álvarez Nadia C.[3]
Rodríguez Cota Franklin G.[2]
Acosta Gallegos Jorge A.[4]

[1] C.E. Valle de Culiacán CIRNO-INIFAP. *cota.carlos@inifap.gob.mx.
[2] C.E. Valle del Fuerte CIRNO-INIFAP.
[3] C.E. Santiago Ixcuintla.
[4] C.E. Bajío CIRCE-INIFAP.

Resumen

En 2024, México ocupó el octavo lugar como productor de frijol a nivel mundial, con una producción de 723 642 toneladas. Su consumo principal son vainas y semillas. La mayoría de los programas de mejoramiento genético tienen como meta mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento y el peso de la semilla de diferentes genotipos de frijol azufrado. El trabajo se realizó en las instalaciones del Campo Experimental Valle de Culiacán (INIFAP) y se evaluaron 25 genotipos de frijol azufrado. Para la siembra se utilizó un arreglo en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se tomaron datos de las diferentes etapas fenológicas; las variables evaluadas fueron rendimiento en t ha^{-1} y peso de 100 semillas en gramos. Los datos obtenidos de los diferentes genotipos se analizaron mediante el programa estadístico SAS. Los genotipos evaluados presentaron el inicio de floración entre los 47 y 49 DDS, desarrollo de vaina entre los 63 y 67 DDS. Finalmente, la fecha de corte se realizó a los 126 días. Con base en el análisis estadístico, la variable de rendimiento no presentó diferencia significativa, mientras que la variable de peso de 100 semillas sí presentó diferencias significativas. Los genotipos con mayor peso de semilla fueron Mo 02-03--977, REG 87xVA 566 95-96-6-2-CM MMMMMMMM y REG 87xAZPA5xCAN 72 22-1-MMMMM con valores de 28.33, 30.00 y 31.67 g, respectivamente. El genotipo sobresaliente por su rendimiento y peso de 100 semillas fue Mo 02-03--977.

Introducción

En 2024, México ocupó el octavo lugar como productor de frijol (Phaseolus vulgaris) a nivel mundial, con una producción de 723 642 toneladas (t), siendo Sinaloa, Zacatecas, Nayarit, Chiapas, Guanajuato, Chihuahua, Puebla, Veracruz, Oaxaca y Durango los principales estados productores de

esta leguminosa. Sinaloa aportó el 27,4 % del valor de la producción (SIAP, 2025). A nivel nacional, esta leguminosa ha tenido gran importancia alimenticia, social y económica, y está presente en todas las regiones y condiciones agroclimáticas del país (Aguilar et al., 2019). Se utiliza principalmente por sus vainas y semillas comestibles en todo el mundo (Jan et al., 2021). Ya que contiene entre 52 % y 76 % de carbohidratos, proteínas (14 %-33 %), aminoácidos como lisina (6.4-7.6 g/100 g), fenilalanina y tirosina (Devi et al., 2020). La mayoría de los programas de mejoramiento genético tienen como objetivo mejorar el rendimiento de los cultivos (Basavaraja et al., 2020). En el caso de esta leguminosa, se enfoca en desarrollar variedades con tolerancia a sequía, plagas y enfermedades, así como en aumentar el rendimiento y la calidad comercial del grano (Sauceda-Acosta et al., 2023). Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el rendimiento y peso de la semilla de diferentes genotipos de frijol tipo azufrado en el Valle de Culiacán.

Materiales y métodos

Se evaluaron 25 genotipos de frijol azufrado provenientes del Programa de Mejoramiento Genético de Frijol del Campo Experimental Valle del Fuerte. El experimento se realizó dentro de las instalaciones del INIFAP-Campo Experimental Valle de Culiacán, Sinaloa, que se localiza a 24.630167 latitud norte, -107.442881 longitud oeste, en el ciclo O-I 2024-2025. Para la siembra se utilizó un arreglo en bloques completamente al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó el 4 de diciembre de 2024 en húmedo y de forma manual. El método de siembra fue a hilera sencilla con distancia entre surcos de 0.75 m, con densidad de 15 semillas por metro lineal en cada variedad. La dimensión de la parcela experimental fue de cuatro surcos de 6 m de largo y 0.75 m de ancho (18 m^2). La parcela útil constó de dos surcos de 5 m de largo y 0.75 m de ancho (7.5 m^2). Se tomaron datos de las diferentes etapas fenológicas del cultivo, como floración, desarrollo de vaina y fecha de corte, basados en días después de la siembra (DDS), así como color de flor. Las variables evaluadas fueron rendimiento en toneladas por hectárea (t ha^{-1}) y peso de 100 semillas en gramos (g). Para evaluar las diferencias en el rendimiento entre los tratamientos y el peso de 100 semillas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar efec-

tos estadísticos ($P < 0.05$) entre los factores evaluados. Una vez detectadas las diferencias ($P < 0.05$), se realizó una comparación de medias mediante la prueba Tukey, utilizando un $\alpha = 0.05$. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS (SAS, 2014).

Resultados y discusión

Los genotipos evaluados presentaron inicio de floración entre los 47 y 49 DDS; el desarrollo de vaina sucedió entre los 63 y 67 DDS. Finalmente, el corte se realizó a los 126 DDS. Todos los materiales presentaron flor blanca (Tabla 1).

Tabla 1. *Etapas fenológicas de 25 genotipos diferentes de frijol tipo azufrado durante el ciclo O-I 2023-2024.*

No.	Nombre (Genealogía)	Floración	Desarrollo de vaina	Corte
1	AZPA5xMOTCALM 6 (T 20 ERR1)	48	63	126
2	REG 87xAZPA5xCAN 72 22-1-MMMMM (T 30 ERR1)	47	64	126
3	REG 87xVA 566 95-96-6-2-CM MMMM-MMMM (T 13 ERR1)	47	65	126
4	II5FRMA-MMMxC. LARGO 3-2-MM (T 21 ERR1)	49	65	126
5	PIM 78X92144 68-6-2-3-1-M (T 5 ERR1)	49	64	126
6	AZPA5xCAN 72XG22242xXAN 145 3-1-1-MM (T 4 ERR1)	48	63	126
7	PIM 78xMO 91-92 2029 2-M (T 18 ERR1)	51	64	126
8	AZPA 31	49	63	126
9	B-23 1-M	49	63	126
10	AZPA5x92493-23 13-CM 2-1-M	53	65	126
11	AZPA5xCAN 107 7-1-MMMMM	50	64	126
12	Mo 13-14 ELAZCel (3)	53	65	126
13	AZ NOROESTExMO 91-92 2029 3-2-2-MM	50	63	126
14	AZPA 5xMO-94-95 3413 3-2-M	51	63	126
15	11-3-1-M	49	63	126
16	AZUFRADO 6 (AZ. 6 AZ REG 87xMO 97-98 3112 15-1-3-1-1-1-M)	50	63	126
17	PER 87xAZPA5xII5xG22242xXAN 145 M-CM MMM	49	62	126
18	AZPA 227	50	63	126
19	Mo 94-95-784	53	67	126
20	AZ. HIGUERA	49	64	126
21	JANASA	50	65	126
22	REYNA	51	67	126
23	Mo 02-03--977	49	63	126
24	Mo 99-00-1085	53	67	126
25	AZ. REGIONAL 87	51	66	126

La variable de rendimiento no presentó una diferencia significativa ($P < 0.05$); sin embargo, los genotipos que presentaron mayor rendimiento numéricamente fueron: Mo 02-03-977, Mo 94-95-784 y B-23 1-M con valores de 1.531, 1.258 y 1.242 $t \cdot ha^{-1}$, respectivamente (Tabla 2). Sauceda-Acosta et al. (2023) evaluaron cinco genotipos de frijol azufrado y obtuvieron rendimientos promedio de tres ciclos agrícolas entre los 2.14 $t \cdot ha^{-1}$ y 2.45 $t \cdot ha^{-1}$. Este mismo autor menciona que una fecha tardía de principios de diciembre ocasiona disminución de rendimiento, como es el caso de la fecha utilizada en el presente estudio, por lo cual pudo afectar el rendimiento de los diferentes genotipos. Referente al peso de 100 semillas, sí mostró una diferencia significativa ($P < 0.05$); los genotipos que presentaron mayor peso fueron: Mo 02-03-977, REG 87xVA 566 95-96-6-2-CM MMMMMMMM y REG 87xAZPA5xCAN 72 22-1-MMMMM con valores de 28.33, 30.00 y 31.67 g, respectivamente (Tabla 2). Se han realizado diversos estudios en donde se ha evaluado el peso de 100 semillas de diferentes tipos de frijol tanto en México como en Costa Rica (Aguilar et al., 2019; Morales-Morales et al., 2019; Oreamuno-Fonseca et al., 2023). El peso de la semilla es característica propia de la raza, de la variedad y tiene carácter genético.

Tabla 2. *Rendimiento y peso de 100 semillas de 25 genotipos de frijol azufrado.*

No.	Nombre (Genealogía)	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)	Peso de 100 semillas (g)
1	AZPA5xMOTCALM 6	0.736 ± 0.283a	25 ± 0.000ab
2	REG 87xAZPA5xCAN 72 22-1-MMMMM	1.033 ± 0.189a	28 ± 2.886ab
3	REG 87xVA 566 95-96-6-2-CM MMMMM-MMM	1.235 ± 0.366a	30 ± 0.000a
4	II5FRMA-MMMxC. LARGO 3-2-MM	0.798 ± 0.483a	23 ± 2.886ab
5	PIM 78X92144 68-6-2-3-1-M	0.909 ± 0.380a	25 ± 0.000ab
6	AZPA5xCAN 72XG22242xXAN 145 3-1-1-MM	1.231 ± 0.249a	25 ± 0.000ab
7	PIM 78xMO 91-92 2029 2-M	1.029 ± 0.761a	23 ± 2.886ab
8	AZPA 31	0.800 ± 0.751a	28 ± 2.886ab
9	B-23 1-M	1.242 ± 0.950a	25 ± 5.000ab
10	AZPA5x92493-23 13-CM 2-1-M	0.409 ± 0.003a	20 ± 5.000ab
11	AZPA5xCAN 107 7-1-MMMMM	0.733 ± 0.415a	25 ± 5.000ab
12	Mo 13-14 ELAZCel (3)	0.842 ± 0.427a	20 ± 0.000ab

No.	Nombre (Genealogía)	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)	Peso de 100 semillas (g)
13	AZ NOROESTExMO 91-92 2029 3-2-2-MM	1.171 ± 0.177a	25 ± 0.000ab
14	AZPA 5xMO-94-95 3413 3-2-M	0.869 ± 0.757a	13 ± 11.547b
15	11-3-1-M	0.713 ± 0.525a	25 ± 0.000ab
16	AZUFRADO 6 (AZ. 6 AZ REG 87xMO 97-98 3112 15-1-3-1-1-1-M)	1.140 ± 0.504a	23 ± 2.886ab
17	PER 87xAZPA5xII5xG22242xXAN 145 M-CM MMM	1.238 ± 0.599a	28 ± 2.886ab
18	AZPA 227	1.020 ± 0.918a	18 ± 16.072ab
19	Mo 94-95-784	1.258 ± 0.084a	26 ± 2.886ab
20	AZ. HIGUERA	0.778± 0.417a	25 ± 0.000ab
21	JANASA	0.493 ± 0.243a	18 ± 2.886ab
22	REYNA	0.929 ± 0.162a	25 ± 5.000ab
23	Mo 02-03--977	1.531 ± 0.636a	32 ± 2.886a
24	Mo 99-00-1085	1.107 ± 0.694a	17 ± 2.886ab
25	AZ. REGIONAL 87	0.749 ± 0.365a	20 ± 5.000ab

[abc] literales diferentes en columna representan diferencias estadísticas ($P < 0.05$).

Conclusiones

El genotipo sobresaliente con base en su rendimiento y peso de 100 semillas fue Mo 02-03--977 con valores de 1.531 $t \cdot ha^{-1}$ y 32 g, respectivamente, y superó a los testigos comerciales AZ. HIGUERA, JANASA y REYNA..

Referencias

Aguilar, B. G., Vázquez, D. E. G., Castro, R. R., Cruz, C. E. y Jarquín, G. R. (2019). *Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10(2), 239-251.

Basavaraja, T., Manjunatha, L., Chandora, R., Gurumurthy, S. and Singh, N. P. (2020). A*ssessment of Genetic Variability, Diversity and Trait Correlation Analysis in Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) Genotypes.* Legume Research – An International Journal. 1-9. https://doi.org/10.18805/LR-4208.

Devi, M., Dhanalakshmi, S., Govindarajan, G. E. T., Tanisha, B. A., Sonalika, T., Ruth, J. E., Avinash, T., Sri, C. J., Logeswaran, K. and Ramasamy, M. N. (2020). A Review on Phaseolus vulgaris Linn. Pharmacognosy Journal 12(5), 1160-1164.

Jan, S., Rather, I. A., Sofi, P. A., Wani, M. A., Sheikh, F. A., Bhat, M. A. and Mir, R. R. (2021). Characterization of common bean (Phaseolus vulgaris L.) germplasm for morphological and seed nutrient traits from Western Himalayas. Legume Science 3(2), 1-16.

Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A. y Alvarado-López, C. J. (2019). *Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (Vigna unguiculata L. Walp) de la Península de Yucatán.* Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 6(18), 463-475.

Oreamuno-Fonseca, P., Monge-Pérez, J. E. y Loría-Coto, M. (2023). *Caracterización morfológica de las semillas de frijoles nativos de Guanacaste, Costa Rica.* UNED Research Journal 15(2).

Sauceda-Acosta, C. P., Rodríguez-Cota, F. G., Cota-Sandoval, M. A., Flores-Sánchez, J. L. y Sauceda-Acosta, R. H. (2023). *Calidad física y rendimiento del grano de frijol azufrado en el norte de Sinaloa.* Biotecnia 25(3): 79-84. https://doi.org/0.18633/biotecnia.v25i3.1964.

SAS Institute Inc. (2014). *SAS-Statistical Analysis Software for Windows Version 9.4M2*. Cary, NC: SAS Inst.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Panorama Agroalimentario – La ruta de la Transformación Agroalimentaria 2018-2024*. Agricultura.

Capítulo **83**

Producción de cebolla (*Allium cepa* L.) con diferentes dosis y fuentes de nitrógeno en riego por goteo

Zazueta López Jorge Enrique[1]
López Urquidez Guadalupe Alfonso[1*]
Angulo Castro Azareel[1]
Armenta Ayala José Oscar[1]
López Orona Carlos Alfonso[1]
Martínez Gallardo José Ángel[1]
Tirado Ramírez Martín Abraham[1]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5. C. P. 80000. Culiacán, Sinaloa, México. *alfonsolopezurquidez@uas.edu.mx.

Resumen

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes en la producción de cebolla (*Allium cepa* L.), esencial para el crecimiento y productividad, ya que forma parte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y clorofila, siendo en la síntesis de enzimas y en la estructura celular. Sus diferentes fuentes presentan comportamientos distintos en el suelo, así como en los procesos de absorción y asimilación por la planta. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis y fuentes de nitrógeno sobre variables de rendimiento del cultivo. Se utilizó la variedad Carta Blanca, sembrada en camas de 1.6 m con seis hileras y tres cintas de riego por goteo. Los tratamientos consistieron en dos dosis de nitrógeno (180 y 240 kg ha^{-1}) y tres fuentes (nitrato, amonio y urea), conformando un diseño de seis tratamientos con cuatro repeticiones. Se evaluaron el peso fresco del bulbo (g), rendimiento (t ha^{-1}), peso seco del bulbo (g) y materia seca del bulbo (%). Los datos fueron analizados mediante ANOVA y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico XLSTAT.

Introducción

La cebolla blanca (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas de mayor relevancia económica y alimentaria a nivel mundial (FAO, 2024). El nitrógeno es el nutriente más determinante en el crecimiento y el rendimiento del cultivo (Dilruba et al., 2006); regula el desarrollo del bulbo y la distribución de asimilados. Es común que las recomendaciones sobre la dosis de nitrógeno en el cultivo de cebolla indiquen la cantidad de unidades, sin especificar la fuente. Las dosis recomendadas varían de 100 a 400 kg/ha de nitrógeno (Mata, 2011). No obstante, la eficiencia de uso del nitrógeno en cebolla suele ser baja, ya que solo se aprovecha el 30 y 40 % (Sharma et al., 2012).

Este nutriente puede suministrarse en forma nítrica, amoniacal o ureica (Von Wirén et al., 1997), de lo cual depende su disponibilidad en el suelo y,

por ende, la acumulación de biomasa y las características de los bulbos, lo que se refleja en rendimiento (Otieno et al., 2021). La urea es el fertilizante más utilizado debido a su importancia en la seguridad alimentaria mundial. Este pasa por un proceso de hidrólisis donde se produce amoniaco (NH_3), el cual reacciona con el agua para formar amonio (NH_{4+}) y libera OH-, lo cual incrementa el pH en el suelo, de manera temporal (Motasim et al., 2024). El amonio induce a la acidificación de la rizosfera en comparación con el nitrato (Zhang et al., 2017). El objetivo es evaluar el efecto de diferentes dosis y fuentes de nitrógeno en la cebolla blanca bajo riego por goteo, con el propósito de aportar criterios técnicos para un manejo más eficiente de la fertilización nitrogenada en este cultivo..

Materiales y métodos

El ensayo se estableció el 12 de noviembre de 2021 en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, con coordenadas geográficas de 24°48'30" latitud Norte y 107°24'30" de longitud Oeste, con una altitud de 38 m; el tipo de clima es semiárido (BS1), de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973). Con un tipo de suelo tipo vertisol crómico con drenaje superficial regular, el cual tiene un pH de 6.8 y una C.E. de 0.18 mS/cm. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2 × 3, correspondiente a dos dosis de nitrógeno (180 y 240 kg ha^{-1}) y tres fuentes nitrogenadas (nitrato, amonio y urea), por lo que se generaron seis tratamientos con cuatro repeticiones. La fertilización complementaria incluyó 100 kg ha^{-1} de P, 150 kg ha^{-1} de K, 50 kg ha^{-1} de Ca, 50 kg ha^{-1} de Mg y 50 kg ha^{-1} de S, aplicados semanalmente desde el trasplante hasta el doblado de tallos. Se cultivó la variedad Carta Blanca de la casa comercial Nunhems. Las plantas se establecieron en camas de 1.6 m de ancho con seis hileras, espaciadas 12.5 cm entre plantas en disposición en zigzag. El riego se aplicó mediante tres cintas por cama, con goteros cada 20 cm y caudal de 1.6 L h^{-1} (Streamline™ X, modelo 12060). A los 140 días después del trasplante se evaluaron las variables de respuesta: peso fresco del bulbo usando balanza analítica, peso seco del bulbo (deshidratado a 70°C hasta peso constante) y diámetros polar y ecuatorial (medidos con vernier digital Truper, precisión 0.01 mm).

Los datos se sometieron a la prueba Shapiro-Wilks y a la prueba Levene para comprobar su normalidad y homocedasticidad de varianzas, respectivamente. Posteriormente, se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico XLSTAT versión 2024.2.2.1422.

Resultados y discusión

Con la dosis de 240 kg ha-1 de N se obtuvo más peso fresco del bulbo y, por tanto, mayor rendimiento que en el tratamiento donde se aplicó 180 kg ha^{-1}, con incrementos de aproximadamente 10,5 %. Estos aumentos coinciden con lo reportado por Gómez et al. (2018) y Habtamu et al. (2021). Este comportamiento puede atribuirse al papel fisiológico fundamental del N en la planta, como un componente estructural de aminoácidos, proteínas, enzimas y clorofila (Marschner, 2012).

En cuanto a la fuente de nitrógeno, los tratamientos con urea y NO_3^- superaron a los fertilizados con NH_4^+, mostrando incrementos de 16,1 % y 12,6 %, respectivamente. Esto se atribuye a la rápida transformación de la urea en NH_4^+ y luego en NO_3^-, y a la alta movilidad del NO_3^- en el suelo, lo que permite una disponibilidad equilibrada de N durante el ciclo de cultivo (Bansal et al., 2021; Ren et al., 2021).

El bajo rendimiento asociado al NH_4^+ puede explicarse por su posible toxicidad en la rizosfera, alteración del pH y afectación del desarrollo radicular, por lo que limita la absorción de nutrientes esenciales como Ca, Mg y K (Schenk et al., 2020). La combinación de 240 kg ha^{-1} de urea resultó ser la más eficiente, alcanzando hasta un 37 % más de rendimiento que 240 kg ha^{-1} de NH_4^+, lo que coincide con Brown et al. (2025).

No se observaron diferencias en el peso seco de los bulbos entre dosis y fuentes, apoyando los hallazgos de Marschner (2012) y Silva et al. (2019) sobre la limitada relación entre dosis altas de N y biomasa útil. Sin embargo, la interacción 240 kg ha^{-1} de urea mostró un peso seco significativamente mayor que 240 kg ha^{-1} de NH_4^+ (15.2 %), indicando una mayor eficiencia en la conversión de materia fresca a seca, consistente con Fandiño et al. (2013).

En conjunto, los resultados demuestran que la dosis y la fuente de nitrógeno afectan de manera significativa el rendimiento de la cebolla blanca, donde

la urea a 240 kg ha^{-1} es la combinación más efectiva bajo riego por goteo. Esto favorece tanto el peso fresco como la eficiencia productiva del bulbo..

Cuadro 1. *Peso de bulbo fresco, rendimiento, peso de bulbo seco y materia seca de bulbo en plantas de cebolla tratadas con diferentes dosis y fuentes de nitrógeno después de 140 días de plantadas.*

Dosis de N (kg ha^{-1})	**Peso fresco (g)**	**Rendimiento (t)**	**Pesos Seco (g)**	**Materia seca (%)**
240	289.35 ± 7.99 a	86.81 ± 2.40 a	33.57 ± 0.81 a	11.70 ± 0.23| a
180	261.65 ± 3.97 b	78.5 ± 1.19 b	32.33 ± 0.72 a	12.43 ± 0.32 a
		Fuente		
Urea	291.98 ± 9.81 a	87.59 ± 2.94 a	33.51 ± 1.04 a	11.58 ± 0.33 a
NH_4	251.38 ± 5.60 b	75.41 ± 1.68 b	31.66 ± 0.90 a	12.67 ± 0.42 a
NO_3	283.16 ± 6.06 a	84.94 ± 1.82 a	33.70 ± 0.85 a	11.93 ± 0.25 a

Dosis de N (kg ha^{-1})	**Peso fresco (g)**	**Rendimiento (t)**	**Pesos Seco (g)**	**Materia seca (%)**
		Dosis de N x Fuente		
180*NO_3	269.72 ± 6.77 bc	80.90 ± 2.03 bc	32.98 ± 1.26 ab	12.23 ± 0.38 a
180*NH_4	261.76 ± 7.70 c	78.51 ± 2.32 c	32.89 ± 1.53 ab	12.70 ± 0.80 a
180*Urea	253.50 ± 5.68 c	76.05 ± 1.70 c	31.13 ± 0.94 ab	12.33 ± 0.46 a
240*NO_3	296.59 ± 8.32 b	88.98 ± 2.50 b	34.41 ± 1.14 ab	11.63 ± 0.32 a
240* NH_4	241.01 ± 7.02 c	72.31 ± 2.11 c	30.42 ± 0.89 b	12.63 ± 0.30 a
240*Urea	330.45 ± 6.71 a	99.13 ± 2.01 a	35.89 ± 1.56 a	10.83 ± 0.36 a

Medias ± error standart con diferentes letras dentro de cada columna, muestran diferencias estadísticas con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

La dosis de 240 kg ha^{-1} de N aumentó significativamente el peso de bulbo y el rendimiento en comparación con 180 kg ha^{-1}. Entre las fuentes, la urea y el nitrato superaron al amonio, destacando la combinación de 240 kg ha^{-1} con urea como el tratamiento más productivo (99 t ha^{-1}). Estos resultados evidencian que el manejo adecuado de la dosis y fuente de nitrógeno es clave para optimizar la producción de cebolla bajo riego por goteo.

Referencias

Bansal, S., Rana, D. S., y Chaudhary, J. (2021). *Response of onion to nitrogen sources under drip irrigation: productivity, nitrogen use efficiency and quality*. European Journal of Horticultural Science, 86(4), 270-278. https://doi.org/10.1007/s10341-021-00573-7

Brown, F. J., Owen Jr, J. S., y Niemiera, A. X. (2025). *Transformations of Nitrate, Ammonium, and Urea When Applied to Pine Bark-based Substrate*. HortScience, 60(7), 1075–1083. https://doi.org/10.21273/HORTSCI18428-24

Dilruba, S., Alam, M. M., Rahman, M. A., y Hasan, M. F. (2006). *Influence of nitrogen and potassium on yield contributing bulb traits of onion*. International Journal of Agricultural Research, 1(1), 85–90. https://doi.org/10.3923/ijar.2006.85.90

Fandiño, L., Rincón, L., y Rodríguez, J. (2013). R*elación entre materia seca y rendimiento en cebolla de bulbo*. Agronomía Colombiana, 31(1), 25–34.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point*. FAO. https://doi.org/10.4060/cb9910en

Gómez, F., Méndez, C., y Rojas, J. (2018). *Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de cebolla (Allium cepa L.)*. Revista Científica Agroecosistemas, 6(2), 121–130.

Habtamu, T., Alemayehu, M., y Tolesa, A. (2021). *Effect of Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Onion*. African Journal of Plant Science, 15(4), 93–101.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3ª ed.). Academic Press

Mata, V. H., Patishtán, P. J., Vázquez, G. E., y Ramírez, M. M. (2011). *Fertirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas* (Libro Técnico No. 5, 185 p.). INIFAP.

Motasim, A. M., Samsuri, A. W., Nabayi, A., Akter, A., Haque, M. A., Abdul Sukor, A. S., y Adibah, A. M. (2024). *Urea application in soil: Processes, losses, and alternatives—A review*. Discover Agriculture, 2. https://doi.org/10.1007/s44279-024-00060-z

Otieno, H. M., Wakhungu, J., y Musyimi, D. (2021). *Influence of nitrogen*

sources and rates on bulb yield and quality of onion (Allium cepa L.). African Journal of Agricultural Research, 16(2), 245–253. https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15133

Ren, B., Guo, Y., Liu, P., Zhao, B., y Zhang, J. (2021). *Effects of Urea-Ammonium Nitrate Solution on Yield, N_2O Emission, and Nitrogen Efficiency of Summer Maize Under Integration of Water and Fertilizer.* Frontiers in Plant Science, 12, 1–12. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.676156

Schenk, P.M., Carvalhais, L.C., y Kazan, K. (2020). *Unraveling plant–microbe interactions: can multi-omics help?* Trends in Biotechnology, 38(9), 1015–1027.

Sharma, P., Shukla, M. K., Sammis, T. W., y Adhikari, P. (2012). *Nitrate-nitrogen leaching from onion bed under furrow and drip irrigation systems.* Applied and Environmental Soil Science, 2012(1), 650206. https://doi.org/10.1155/2012/650206

Silva, C. A., Andrade, R. P., y Almeida, G. F. (2019). *Efeito da adubação nitrogenada sobre a matéria seca de bulbos de cebola.* Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 13(1), 102–110.

von Wirén, N., Gazzarrini, S., y Frommer, W. B. (1997). *Regulation of mineral nitrogen uptake in plants.* Plant and Soil, 196, 191–199. https://doi.org/10.1023/A:1004241722172

Zhang, C., Zhang, X.-Y., Zou, H.-T., Kou, L., Yang, Y., Wen, X.-F., Li, S.-G., Wang, H.-M., y Sun, X.-M. (2017). *Contrasting effects of ammonium and nitrate additions on the biomass of soil microbial communities and enzyme activities in subtropical China.* Biogeosciences, 14, 4815–4827. https://doi.org/10.5194/bg-14-4815-2017

Capítulo **84**

Fertilización nitrogenada en soya (*Glycine max* L.) Evaluada mediante espectrofotometría directa e indirecta

Antonio Bojórquez Oscar[1]
Fuentes Verduzco Cipriano[1]
Sauceda Acosta Raúl H.[2]
Flores Sánchez Jorge Luis[3]
Sauceda Acosta Carlos Patricio[1*]

[1] Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Calle 16 Av. Japaraqui, 81110, Juan José Ríos, Sinaloa. *saucedap@uas.edu.mx.
[2] Campo Experimental Valle del Fuerte - INIFAP. Km 1609, Carretera Internacional México-Nogales, Juan José Ríos, C.P. 81110.
[3] Insituto Tecnológico Campus El Llano Aguascalientes. Km 18 Carretera Aguascalientes-S.L.P., C.P. 20330.

Resumen

El contenido de clorofila foliar tiene estrecha relación con la concentración de nitrógeno en la planta. El objetivo del presente estudio fue evaluar la fertilización nitrogenada mediante la cuantificación y la estimación de la clorofila, asimismo, a través del color obtenido con análisis de imágenes digitales (AID) en foliolos de soya (*Glycine max* L.) de la variedad Guayparime S-10. Los tratamientos fueron cinco dosis de nitrógeno (0, 100, 200, 300 y 400 ppm) en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La cuantificación de la clorofila (CTC) se realizó con espectrofotómetro y el contenido relativo de clorofila (CRC) se midió con los sensores SPAD-502® y atLEAF+® en foliolos previamente digitalizados a 300 ppp. El color foliar se obtuvo en el espacio RGB con AID realizado con el programa Macf-IJ. La dosis de 300 ppm produjo el máximo CTC (4.03 mg g^{-1}), que disminuyó a 400 ppm (2.85 mg g^{-1}); mientras que el CRC obtenido con el SPAD-502® y el atLEAF+® fue mayor y similar entre las dosis de 300 y 400 ppm de N, con diferencia con el resto de concentraciones ($p \leq 0.05$). El color mostró asociación negativa con la dosis de nitrógeno, por una posible saturación óptica de los sensores. Hubo fuerte relación entre el CRC y CTC ($R^2 \approx 0.82$) y estrecha entre CRC y color ($R^2 \geq 0.91$). La espectrofotometría directa e indirecta confirma los efectos de la fertilización nitrogenada. Los sensores SPAD-502® y atLEAF+® ofrecen estimaciones rápidas y confiables de CRC, y AID representa un método complementario valioso para evaluar la precisión de los sensores ópticos.

Introducción

La medición del contenido de clorofila foliar permite evaluar el estado nutricional de los cultivos y su rendimiento (Padilla et al. (2018)). Los métodos para cuantificar la concentración de clorofila se dividen en destructivos, que implican la determinación espectrofotométrica de la absorbancia o mediante cromatografía líquida de alta resolución, y no destructivos, que utilizan

sensores ópticos capaces de estimarla de forma indirecta. Los dispositivos que miden la transmitancia, absorción y reflectancia de la radiación representan una alternativa a los métodos de laboratorio (Anderson et al., 2025), los cuales son lentos y utilizan sustancias tóxicas y equipos costosos.

Los sensores portátiles para estimar el contenido relativo de clorofila también permiten evaluar la concentración de nitrógeno foliar, dado que alrededor del 70 % de este nutriente se encuentra en los cloroplastos. De esta manera, es posible optimizar la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Los dispositivos que determinan la transmitancia en las hojas son el SPAD-502® (Konica-Minolta Inc., Osaka, Japón) y el atLEAF+® (FT Green LLC, Wilmington, DE, EUA) (Dunn et al., 2018). Mientras que la reflectancia con el PlantPen/N-Pen N 110 (PSI spol. sro, Drásov, República Checa) o a nivel de dosel con el GreenSeeker® (Trimble, Sunnyvale, CA, EUA), para estimar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y otros (Jacquemoud y Ustin, 2019).

La estimación o cuantificación tradicional del contenido de clorofila se realiza en una porción o área reducida de la hoja. En el caso de la espectrofotometría, la muestra es de alrededor de 0.2 g; con el SPAD-502® se mide un área de solo 6.0 mm^2, con 12 mm de alcance al interior del limbo y con el atLEAF+® que abarca 81 mm^2, el cual posee una apertura fija de 4.0 mm, con 18.5 mm al interior de la lámina. El tamaño reducido de la muestra afecta la representatividad y confiabilidad, sobre todo por la variación entre y dentro de hojas. Por ello, se recomienda un muestreo sistemático (Dunn et al., 2018) y mayor número de repeticiones (Mohan y Gupta, 2019). No obstante, la información sigue siendo limitada, por lo que una alternativa es el análisis de imágenes digitales, que permite abarcar toda o gran parte de la lámina foliar, según la especie.

El análisis de imágenes digitales (AID) cuantifica el color foliar mediante reflectancia, principio similar al de los sensores ópticos (Anderson et al., 2025), pero con la ventaja de capturar la morfología y color de toda la hoja, lo que lo convierte en un indicador confiable del contenido de clorofila y nitrógeno. Esta metodología se considera de bajo costo y de mayor precisión para estimar el estado de N, clorofila y área foliar que los sensores convencionales (Putra y Soni, 2020). Dentro de estos, el atLEAF+® es una alternativa más económica y reciente que el SPAD-502®. Sin embar-

go, es necesario evaluar su precisión para estimar el contenido de clorofila y la fertilización nitrogenada en los cultivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la fertilización nitrogenada mediante la cuantificación y estimación de la clorofila, así como a través del color obtenido con el AID de foliolos de soya (*Glycine max* L.) de la variedad Guayparime S-10.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, en Juan José Ríos, Sinaloa, durante el ciclo primavera-verano 2025. La siembra de la variedad de soya (*Glycine max* L.) Guayparime S-10 fue el 9 de mayo de 2025 en macetas, con tres plantas en cada una. Los tratamientos fueron cinco dosis de N (0, 100, 200, 300 y 400 ppm) a base de UAN-32, en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El contenido relativo de clorofila (CRC) se obtuvo en hojas frescas recién maduras, en la etapa de inicio de floración (R1), con los sensores SPAD-502® y atLEAF+® mediante tres lecturas a lo largo de cada uno de los foliolos, los mismos que se digitalizaron a 300 píxeles por pulgada (ppp) con escáner de escritorio (Canon® modelo LiDE 300) y se guardaron en formato jpeg a color. El color foliar de toda la lámina se obtuvo en el espacio de color RGB (por sus siglas en inglés, Red = rojo, Green = verde, Blue = azul) mediante el AID de las imágenes de los foliolos con el programa Macf-IJ. El contenido total de clorofila foliar (CTC, mg g^{-1}) se cuantificó mediante extracción foliar a partir de 0.2 g de tejido fresco macerado en un mortero con acetona al 80 %. La mezcla se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos en un tubo de ensayo. La absorbancia del extracto se midió a 663 y 645 nm con un espectrofotómetro digital Goyojo, modelo 721 (Hong Kong, China). La clorofila a y b se calcularon con las ecuaciones propuestas por Lichtenthaler (1987). El análisis de los datos se realizó con el programa SAS versión en línea (SAS® OnDemand For Academics), la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad, la prueba de Bartlett. La evaluación de las dosis de N fue mediante ANDEVA del color verde, rojo y azul, el contenido de clorofila (CRC y CTC) y con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La precisión se analizó a través del coeficiente de determinación (R2) de la regresión entre el CRC, CTC, el color y la intensidad (R + G + B/3).

Resultados y discusión

La dosis de N mostró asociación positiva cuadrática con el CTC (R^2= 0.88, $p \leq 0.05$) y con el CRC medido con SPAD-502® y atLEAF+® (R^2= 0.97, $p \leq 0.05$), así como entre el CTC y el CRC ($R^2 \approx 0.82$, $p \leq 0.05$). Este comportamiento coincide con el señalado por Padilla et al. (2018), quienes lo atribuyen a la saturación óptica de los sensores al existir altos niveles de CTC, pues aumenta la absorción de radiación y los cambios en la transmitancia son mínimos o nulos. Además, es posible una respuesta fisiológica de la planta, de modo que el CTC y el CRC tienden a estabilizarse o disminuir, al aumentar la dosis de N, como se observó en el CTC.

El CTC fue menor sin uso de N y mayor con la aplicación de 300 ppm de N ($p \leq 0.05$), con una reducción en la dosis de 400 ppm de N (Cuadro 1). Este efecto, Ahmad et al. (2022) lo atribuyen al exceso de N, pues aumenta la biomasa foliar, pero disminuye la concentración de clorofila por unidad de peso, mientras que el CRC medido con SPAD-502® y atLEAF+® fue alto y similar entre 300 y 400 ppm de N, con diferencia al resto de concentraciones ($p \leq 0.05$). Esta respuesta puede deberse a que la pigmentación foliar fue suficiente para atenuar la luz a pesar de la disminución del CTC.

Cuadro 1. *El contenido total y relativo de clorofila en foliolos de soya en cinco dosis de nitrógeno.*

Dosis de N	**Contenido de clorofila**				
	Total (CTC mg g^{-1})		**Relativo (SPAD-502®)**		**Relativo (atLEAF+®)**
0	0.91	a	7.71	a	16.07
100	2.29	b	16.42	b	24.49
200	2.77	c	29.36	c	36.57
300	4.03	d	38.93	d	43.74
400	2.85	c	39.62	d	44.13
Media	2.57		26.41		33.00
CV	1.25		2.57		3.24
DHS (Tukey=0.05)	0.087		1.825		2.870

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta.

El color disminuyó al incrementar la dosis de N; el rojo, verde y la intensidad mostraron valores más bajos en las dosis de 300 y 400 ppm, mientras que el azul también mostró diferencias ($p \leq 0.05$), aunque menos marcadas (Cuadro 2). Estos resultados confirman la saturación óptica reportada por Padilla et al. (2018). El rojo, el verde y la intensidad mostraron estrecha asociación con la dosis de N ($R^2 \geq 0.91$, $p \leq 0.05$), con el CRC obtenido con atLEAF+® ($R^2 \geq 0.95$, $p \leq 0.05$) y con SPAD-502® ($R^2 \geq 0.97$, $p \leq 0.05$), mientras que su relación con el CTC fue menor ($R^2 \geq 0.70$, $p \leq 0.05$). El azul mostró moderada asociación con la dosis de N ($R^2 = 0.71$, $p \leq 0.05$) y con el CRC ($0.83 \leq R^2 \leq 0.87$, $p \leq 0.05$), pero mayor con el CTC ($R^2 \geq 0.81$, $p \leq 0.05$).

La asociación en todos los casos fue lineal y negativa, lo cual es consistente con el principio de "a mayor absorción de luz, menor reflectancia", un fenómeno reportado por Anderson et al. (2025), quienes señalan inconsistente la relación lineal entre el CRC y el CTC en hojas de arroz y que indican que la espectrofotometría directa presenta un mayor nivel de incertidumbre para evaluar el contenido de clorofila en comparación con el CRC medido con SPAD y el uso de imágenes digitales.

Cuadro 2. *Color en foliolos de soya, obtenido con análisis de imágenes digitales, en cinco dosis de nitrógeno.*

Dosis de N	Color (RGB)			
	Rojo	Verde	Azul	Intensidad
0	144.45 d	159.37 d	82.24 c	128.69
100	123.91 c	149.5 c	76.19 b	116.54
200	86.9 b	118.96 b	70.45 a	92.1
300	69.98 a	98.05 a	68.24 a	78.75
400	68.69 a	94.46 a	70.14 a	77.77
Media	98.79	124.07	73.45	98.77
CV	1.87	1.88	1.57	1.64
DHS (Tukey=0.05)	4.96	6.27	3.10	4.35

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta.

Conclusiones

La espectrofotometría, directa e indirecta, permite identificar el efecto de la fertilización nitrogenada en soya. Los sensores ópticos proporcionan rapidez y practicidad en la estimación no destructiva del contenido de clorofila, mientras que el análisis de imágenes digitales representa un método complementario confiable para evaluar los sensores SPAD-502® y atLEAF+® en la estimación de clorofila en soya, al integrar información de toda la lámina de los foliolos.

Referencias

Anderson, J., Boonyaves, K., Okamoto, H., Karaket, N., Chuekong, W., Garvie, M., Chabang, N., Osorio, D., y Supaibulwatana, K. (2025). *Image-based leaf SPAD value and chlorophyll measurement using a mobile phone: enabling accessible and sustainable crop management.* bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2025.07.08.663527

Dunn, B., Singh, H., Payton, M., y Kincheloe, S. (2018). *Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on SPAD-502 and atLEAF sensor readings of Salvia.* Journal of Plant Nutrition, 41, 1674-1683. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1458874

Jacquemoud, S., y Ustin, S. (2019). *Leaf optical properties*. Cambridge University Press.

Lichtenthaler, H. K. (1987). *Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes.* Methods in enzymology 148, 350-382. Academic Press.

Mohan, P., y Gupta, S. (2019). *Intelligent image analysis for retrieval of leaf chlorophyll content of rice from digital images of smartphone under natural light.* Photosynthetica, 57, 388-398. https://doi.org/10.32615/ps.2019.046

Putra, B. T. W., y Soni, P. (2020). *Improving nitrogen assessment with an RGB camera across uncertain natural light from above-canopy measurements.* Precision Agriculture, 21, 147-159. https://doi.org/10.1007/s11119-019-09656-8

Capítulo **85**

Inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* mediante ficonanopartículas de Cu, Zn y Zn/Cu sintetizadas a partir de *Eisenia* SP

Gonzalez Méndez Daniela J[1]
Chimal Vega Brenda[1]
González Mendoza Daniel[2]
Castro Villavicencio Alondra[2]
Méndez Trujillo Vianey[1*]

[1] Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.*vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx.
[2] Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.

Resumen

Las algas marinas, como lo es *Eisenia* sp., son una fuente de compuestos bioactivos con aplicaciones en agricultura y biotecnología, ya que sus extractos inhiben hongos fitopatógenos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, ofreciendo una alternativa sostenible a los fungicidas sintéticos que generan resistencia. En particular, se encuentra que el *Fusarium oxysporum* afecta cultivos como maíz, trigo y cebada, causando importantes pérdidas económicas. Como estrategia innovadora, se sintetizaron fico-nanopartículas (Fico-NPs) de Cu, Zn y Zn/Cu a partir de extractos de *Eisenia* sp., y se evalúa su efecto antifúngico in vitro frente a F. *oxysporum*, donde las Fico-ZnNPs al 5 mM mostraron la mayor inhibición micelial (60 % a los 7 días y 49 % a los 14 días), lo que sugiere una sinergia entre el zinc y los metabolitos secundarios del alga. Estos resultados las consolidan como una potencial herramienta biotecnológica para el control de este patógeno en la agricultura.

Introducción

Las algas marinas son organismos multicelulares que habitan en ecosistemas costeros y representan una fuente valiosa de compuestos bioactivos con aplicaciones en agricultura, medicina y biotecnología. Su composición química incluye ácidos grasos, polisacáridos sulfatados, polifenoles, minerales y metabolitos secundarios, los cuales han demostrado propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas. Estos compuestos naturales desempeñan un papel fundamental en la protección de las plantas frente a patógenos y condiciones de estrés ambiental, posicionando a las algas como una alternativa sostenible a los insumos sintéticos empleados en la agricultura convencional (Fraga-Corral et al., 2023).

Actualmente, los extractos de algas han despertado gran interés como fuente rica de metabolitos bioactivos, destacando por sus compuestos con

actividad biológica cuya acción antibacteriana y antifúngica ha sido ampliamente documentada. Ejemplo de ello es *Gracilariopsis persica*, que contiene compuestos fenólicos como el ácido rosmarínico y la quercetina, además de lípidos y ácidos grasos como el palmítico y el oleico, los cuales han demostrado fuerte capacidad para inhibir el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos en diferentes concentraciones (Pourakbar et al., 2021).

Extractos acuosos de *Ecklonia* sp., *Anabaena* sp. y *Jania* sp. han mostrado la capacidad de inhibir la germinación de esporas y reducir el crecimiento de hongos patógenos agrícolas (Righini et al., 2019). De manera similar, géneros como *Gracilariopsis*, *Cladophoropsis* y *Ulva* han reportado actividad inhibitoria frente a *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, actuando mediante mecanismos relacionados con la neutralización de radicales libres y la adsorción de micotoxinas (Fraga-Corral et al., 2023). Estas evidencias refuerzan el valor biotecnológico de las algas como fuente de compuestos para el control de fitopatógenos, contribuyendo además a disminuir la dependencia de fungicidas sintéticos.

Uno de los principales retos en la protección de cultivos es la creciente resistencia desarrollada por los hongos fitopatógenos frente a los fungicidas convencionales. Tal es el caso de *Fusarium oxysporum*, un patógeno ampliamente distribuido que infecta raíces y semillas de cultivos de gran relevancia económica como maíz, trigo y cebada, ocasionando pérdidas considerables en la producción agrícola y representando una amenaza para la seguridad alimentaria mundial (Cerna-Chávez et al., 2023; Leyva-Mir et al., 2017).

Ante esta problemática, las tecnologías emergentes como la nanotecnología verde se presentan como una alternativa eficiente y eco amigable, capaz de transformar sistemas biológicos en soluciones sostenibles mediante la síntesis de nanopartículas metálicas. A diferencia de las nanopartículas químicamente sintetizadas, las derivadas de algas poseen una alta relación superficie-volumen y una notable capacidad antimicrobiana, lo que las convierte en candidatas prometedoras para el desarrollo de fungicidas ecológicos.

Las macroalgas, gracias a su contenido de clorofilas, ficobilinas, fenoles, flavonoides, glucósidos y taninos, entre otros, permiten la síntesis de nanopartículas con actividad antifúngica y antibacteriana frente a patógenos resistentes (Mandal et al., 2023). En particular, las nanopartículas metálicas (plata, zinc y sus óxidos) sintetizadas mediante procesos verdes

se han propuesto como nanofungicidas ecológicos, capaces de optimizar recursos y reducir el impacto ambiental en comparación con los agentes químicos convencionales (Chávez et al., 2023).

En este sentido, la presente investigación explora la viabilidad de síntesis y aplicación de ficopartículas metálicas obtenidas a partir del extracto acuoso de *Eisenia* sp. para combatir infecciones causadas por *Fusarium oxysporum*. El objetivo de este estudio fue sintetizar y evaluar la actividad antifúngica de fico-nanopartículas de Cu, Zn y Zn/Cu obtenidas de *Eisenia* sp. frente a *F. oxysporum*. La combinación de metabolitos algales con propiedades antifúngicas y las ventajas de la nanotecnología verde abre la posibilidad de desarrollar estrategias más eficaces, seguras y ambientalmente responsables en el ámbito agrícola y nutricional.

Metodología

Obtención de materia prima.

Se preparó un extracto acuoso a partir de 10 g de biomasa seca de *Eisenia* sp. (BajaKelp, Ensenada y B.C.) en 100 mL de agua destilada, calentado a 60 °C por 30 min y centrifugado a 4000 rpm. El sobrenadante fue almacenado a 4 °C.

Síntesis de Fico-NPs.

La síntesis de Fico-NPs de Zn, Cu y Zn/Cu se realizó mezclando 4 mL de soluciones metálicas (5 mM) con 1 mL del extracto, calentando a 60 °C por 30 min. La formación de nanopartículas se confirmó por aparición de conglomerados; las soluciones se centrifugaron (10 000 rpm, 10 min), se filtraron y refrigeraron.

Prueba de actividad antifúngica.

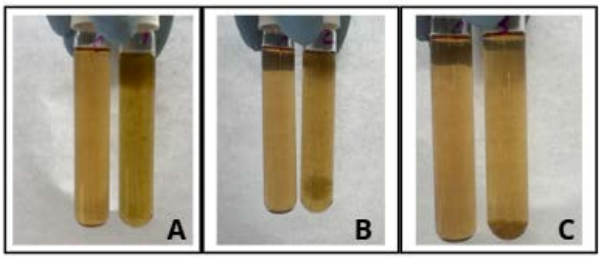
La actividad antifúngica se evaluó mediante el método de difusión en agar tipo pozo (Pariona et al., 2018). Se utilizaron placas con medio de culti-

vo PDA (Agar Papa Dextrosa) inoculadas con F. oxysporum, a las que se aplicaron 50 µL de cada tratamiento: extracto algal, Fico-CuNPs, Fico-ZnNPs, Fico-Zn/CuNPs y sales metálicas sin extracto, considerando un total de cinco tratamientos. Las placas se incubaron durante 14 días a 27 °C y se evaluó como variable de respuesta el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial al día 7 y al día 14. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía ($p < 0.05$) en GraphPad Prism v8, con dos réplicas por tratamiento. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, y se aplicó la prueba post hoc de Tukey para la comparación entre tratamientos.

Resultados y discusión

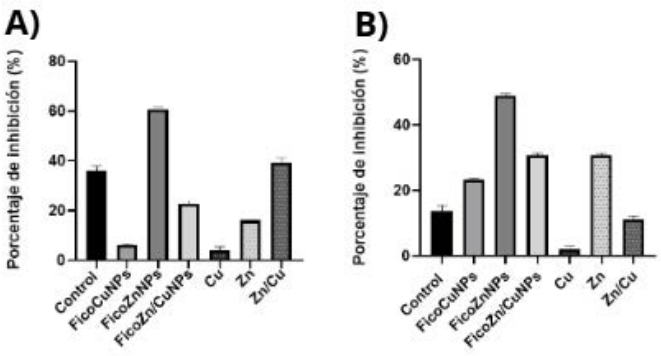
En el presente estudio se logró la síntesis de fico-nanopartículas (Fico-NPs) de Cu, Zn y Cu/Zn a una concentración de 5 mM de las sales, a partir del extracto acuoso de *Eisenia* sp. (Figura 1). La formación de las nanopartículas se confirmó por la aparición de conglomerados característicos en cada tratamiento: a) Fico-CuNPs, b) Fico-ZnNPs y c) Fico-Zn/CuNPs (5 mM).

Figura 1. *Síntesis de Fico-NPs. Donde A) Control a la derecha vs Fico-NPs de Cu a la izquierda; B) Control a la derecha y Fico-NPs de Zn a la izquierda; C) Control derecha y Fico-NPs de Zn/Cu a la izquierda.*



El efecto antifúngico de las Fico-NPs sobre F. oxysporum se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA). Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), donde las Fico-ZnNPs son las más efectivas, con un 60 % de inhibición del crecimiento micelial al día 7 y un 49 % al día 14, lo que concuerda con lo visualizado en la Figura 2.

Figura 2. *Variaciones en el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de F.oxysporum expuesto a las ficonanoparticulas de Eisenia sp. con Cu, Zn y Cu/Zn durante un período de 14 días. Las barras indican diferencias significativas (ANOVA, prueba de Tukey post-ANOVA).*



Estos resultados confirman la actividad inhibitoria del extracto acuoso de *Eisenia* sp., aunque la incorporación de metales potenció significativamente su efecto, en particular con Zn. La mayor eficacia observada en las Fico-ZnNPs sugiere una sinergia entre los compuestos bioactivos del alga y las propiedades citotóxicas del zinc, lo que incrementa la acción antifúngica. Este comportamiento coincide con reportes previos de nanopartículas biogénicas a partir de microalgas, como *Scenedesmus subspicatus*, frente a especies de *Aspergillus* (Schmid et al., 2022).

De manera similar, estudios recientes con extractos metanólicos de *Gracilariopsis persica* han evidenciado un perfil rico en metabolitos bioactivos, entre los que destacan compuestos fenólicos como el ácido rosmarínico y la quercetina, así como ácidos grasos y esteroles detectados mediante GC-MS. Dichos metabolitos se asociaron con una inhibición significativa del crecimiento micelial en hongos fitopatógenos, logrando incluso una inhibición completa a concentraciones elevadas (Pourakbar et al., 2021).

La coincidencia entre ambos estudios refuerza la hipótesis de que los metabolitos bioactivos desempeñan un papel clave en la actividad antifúngica de los extractos de macroalgas. Sin embargo, la combinación de estos compuestos con nanopartículas metálicas, como se observó en las Fico-ZnNPs, potencia el efecto antifúngico al integrar mecanismos de acción complementarios. Por un lado, la capacidad antioxidante y antimicrobiana de los metabolitos algales, y por otro, el daño estructural y funcional causado por el zinc a nivel celular.

En conjunto, los hallazgos respaldan el potencial de las Fico-ZnNPs como una estrategia biotecnológica eficaz y sustentable para el control de *F. oxysporum*, reduciendo la dependencia de fungicidas sintéticos y contribuyendo a la innovación en nanotecnología verde aplicada a la agricultura.

Conclusiones

El presente estudio demostró que las nanopartículas metálicas de Zn (fico-ZnNPs) de *Eisenia* sp tienen un impacto positivo en la inhibición, hasta el 60 % de crecimiento micelial en *F. oxysporum*. Se requieren más evaluaciones de campo para dilucidar completamente el potencial biotecnológico de las ficonanopartículas a partir de *Eisenia* sp.

Referencias

Cerna-Chávez, E., Malacara-Herrera, I. del R., Ochoa-Fuentes, Y. M. y Hernández-Juárez, A. (2023). *Evaluación in vitro de extractos vegetales adicionados con nanopartículas para el control de Fusarium oxysporum*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 10(2). https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3424

Fraga-Corral, M., Otero, P., Echave, J., Pereira, A. G., Garcia-Oliveira, P., Perez-Vazquez, A., Donn, P., Cassani, L., Cao, H., Simal-Gandara, J. y Prieto, M. A. (2023). *Algal extracts as preventive mechanism for mycotoxins development*. Biology and Life Sciences Forum, 24(1). https://doi.org/10.3390/iect2023-14814

Leyva-Mir, S., Vega-Portillo, H., Villaseñor-Mir, H., Tlapal, B., Vargas-Hernández, M., Camacho-Tapia, M. y Tovar-Pedraza, J. (2017). *Caracterización de especies de Fusarium causantes de pudrición de raíz del trigo en el Bajío, México*. Chilean Journal of Agricultural y Animal Sciences, 33, 142–151. https://doi.org/10.4067/s0719-38902017005000404

Pariona, N., Hermida Montero, L. A., Martínez, A. I. y Sánchez Rangel, D. (2018). *Síntesis de nanopartículas de cobre para el control de hongos fitopatógenos*. Revista Eciperu, 31(2), 109–116. https://doi.org/10.33017/reveciperu2018.0017

Righini, H., Baraldi, E., García Fernández, Y., Martel Quintana, A. y Ro-

berti, R. (2019). *Different antifungal activity of Anabaena sp., Ecklonia sp. and Jania sp. against Botrytis cinerea.* Marine Drugs, 17(5), 299. https://doi.org/10.3390/md17050299

Schmid, B., Coelho, L., Schulze, P. S. C., Pereira, H., Santos, T., Maia, I. B., Reis, M. y Varela, J. (2022). *Antifungal properties of aqueous microalgal extracts.* Bioresource Technology Reports, 18. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101096

Pourakbar L., Moghaddam S. S., Enshasy H. A. E. y Sayyed R. Z..(2021) Antifungal Activity of the Extract of a Macroalgae, Gracilariopsis persica, against Four Plant Pathogenic Fungi. Plants (Basel). 10(9). https://doi.org/10.3390/plants10091781. PMID: 34579314; PMCID: PMC8467150.

Capítulo **86**

Producción de espinaca (*Spinacia oleracea*) en columnas verticales

Temoatzin Abraham Loyola Orduña[1]
Zamora Salgado Sergio[1]
Ruiz Espinoza Francisco Higinio[1]
Beltrán Morales Félix Alfredo[1]
Murillo Chaidez Ramón Alejandro[1]
Méndez Garfias Consuelo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Resumen

La espinaca (*Spinacia oleracea*) es una hortaliza de alto valor nutricional y económico, cuya producción convencional se realiza en campo abierto. Frente a los desafíos actuales de la agricultura, como la escasez de agua y la limitación de espacio, el cultivo en columnas verticales surge como una alternativa sostenible. Este sistema permite optimizar el uso del espacio y reducir significativamente el consumo de agua, especialmente mediante técnicas hidropónicas y aeropónicas que reciclan hasta el 95 % del recurso hídrico. El presente estudio se desarrolló en una casa sombra de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, evaluando cuatro tratamientos que combinaron dos diámetros de columna (6 y 8 pulgadas) y dos configuraciones de riego (uno o dos goteros). Las columnas, de 1.60 m de altura y 20 cavidades, se llenaron con un núcleo de arena y sustrato de *peat moss*^{MR}. Se aplicó riego diario y fertilización semanal, evaluando el rendimiento por columna como variable principal. Los resultados mostraron que las columnas de 6 pulgadas obtuvieron mayores rendimientos, independientemente del número de goteros, alcanzando hasta 43 991 kg/ha. Esta cifra supera ampliamente los valores reportados por SADER para agricultura convencional (15 000–25 000 kg/ha). La eficiencia del sistema vertical se atribuye al control del entorno y la densidad de cultivo. Se concluye que el uso de columnas verticales representa una estrategia viable para incrementar la productividad de espinaca, optimizando recursos y espacio en contextos agrícolas limitados.

Introducción

La espinaca (Spinacia oleracea) es un cultivo de hoja de gran importancia económica y nutricional a nivel global. Su versatilidad y valor nutricional la posicionan como una hortaliza fundamental para la seguridad alimentaria y la economía local (Ramaiyan et al., 2020). Normalmente, su producción suele ser a campo abierto y su siembra es directa y utiliza un área más am-

plia. Sin embargo, existen otras técnicas, las cuales pueden hacer uso más eficiente del espacio, como es el uso de columnas verticales, la cual es una innovación sostenible frente a los desafíos de la agricultura convencional, como la escasez de agua, la falta de espacio y los altos costos de mano de obra. Este modelo de cultivo utiliza estructuras apiladas que permiten maximizar el uso del espacio y uno de los principales beneficios es la reducción del consumo de agua. (Despoina y Xydis, 2020). Diferentes estudios han demostrado que los sistemas hidropónicos y aeropónicos utilizados en la agricultura vertical pueden reciclar y reutilizar el agua, lo que permite un ahorro de hasta el 95 % en comparación con la agricultura tradicional (Fussy y Papenbrock, 2022). Ante los desafíos actuales y la posibilidad de mejorar en gran medida la producción de algunos cultivos, el objetivo del presente trabajo fue determinar el diámetro y punta de riego en columnas verticales para la producción del cultivo de espinaca.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en una casa sombra ubicada en el campo agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, campus La Paz. Se evaluaron cuatro tratamientos que combinaron dos diámetros de columna y ubicaciones de los emisores de riego: T1 consistió en una columna de 6 pulgadas con un gotero en la parte superior; T2, columna de 6 pulgadas con dos goteros (uno en la parte superior y otro a 50 cm de profundidad); T3, columna de 8 pulgadas con un gotero en la parte superior; y T4, columna de 8 pulgadas con dos goteros en las mismas posiciones que T2. Las columnas tuvieron una altura de 1,60 m y contaron con 20 cavidades, montadas sobre cubetas de 20 litros para evitar el exceso de humedad generado por el drenaje. La separación entre columnas fue de 1 m. El llenado de las columnas se realizó formando un corazón de arena, utilizando, para ello, un tubo de 2 pulgadas de diámetro, y el resto del volumen se completó con sustrato de *peat moss*^{MR}. El riego se aplicó diariamente con un volumen de 4 litros por columna. El trasplante se efectuó dos semanas después de la siembra, que fue en charolas germinadoras. La fertilización se realizó semanalmente y sigue las recomendaciones de (Pulido y Rincón 2024), aplicando por columna 31.87 g de nitrógeno, 13.12 g

de fósforo, 28.12 g de potasio, 13.12 g de calcio y 6.56 g de magnesio. La variable evaluada fue el rendimiento por columna, considerando la producción total obtenida en cada tratamiento.

Resultados

En el Cuadro 1 se muestra el número de cortes, peso del producto cosechado y el rendimiento por columna. No se observa diferencia significativa entre los tratamientos; sin embargo, los tratamientos de columnas con 6 pulgadas de diámetro fueron los que obtuvieron mayor rendimiento y, entre ellos, no repercutió el número de goteros. Esto demuestra que el cultivo de espinacas en columnas verticales trae consigo beneficios como es el ahorro de espacio y rendimiento. De esta forma, concuerda con Kodmany (2018), al explicar que esta técnica resalta la viabilidad y las ventajas de la producción de espinaca en columnas verticales, confirmando los beneficios en comparación con la agricultura convencional.

Cuadro 1. *Valores obtenidos en el número de cortes y rendimiento (materia fresca) por columna.*

Tratamiento	**Numero de cortes**					**Rendimiento Kg /columna**	**Rendimiento potencial (materia fresca) Kg ha^{-1}**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**		
8 pulgadas 2 goteros	1087.5	760	1407.5	1220	1529	6.04	37 110 kg
8 pulgadas 1 goteros	1119	1104	1434	1255.75	1255.75	6.01	36 925 kg
6 pulgadas 2 goteros	1133.1	1335.75	1535.7	1570	1425.75	7.19	43 991 kg
6 pulgadas 1 gotero	1295.75	1260.75	1465	1515	1556.6	7.09	43 561 kg

Discusión

Asimismo, Burritt et al. (2025) explican que, en los cultivos tradicionales, los rendimientos dependen de factores como la calidad del suelo, el clima y el riego, mientras que la agricultura en columnas verticales permite un control total o en su mayoría del entorno. Esto se traduce en una alta producción por unidad de superficie, lo que maximiza el uso del espacio. La Gráfica 1 muestra que el tratamiento más eficiente fue la columna de 6 pulgadas con goteo. Si se pretendiera establecer una hectárea con columnas verticales, la producción potencia sería de 43 991 kg/h. Con base en los resultados obtenidos, y al hacer la extrapolación correspondiente, se tendría un rendimiento potencial de 43 991 kg/ha. Se incrementaría en un 72 % la producción que reporta SADER (2025), que en la agricultura convencional la producción varía entre 15 000 a 25 000 kg/ha^{-1}, ya que esto dependerá de su cuidado, marco de plantación y el número de cortes.

Conclusiones

El cultivo de espinaca en columnas verticales representa una alternativa viable y eficiente frente a los sistemas convencionales, especialmente en contextos con limitaciones de espacio y recursos hídricos. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las columnas de 6 pulgadas de diámetro, independientemente del número de emisores de riego, alcanzaron los mayores rendimientos por unidad, superando significativamente los valores promedio reportados para agricultura tradicional. Además, el uso de columnas verticales permite optimizar el uso del espacio, reducir el consumo de agua y facilitar el manejo agronómico, lo que refuerza su potencial como estrategia sostenible para la producción intensiva de hortalizas. Se recomienda continuar con estudios complementarios que evalúen la eficiencia hídrica, la calidad del producto y la viabilidad económica del sistema a escala comercial, así como su adaptación a otros cultivos de hoja.

Referencias

Burritt M., Valle-de-Souza S. y Peterson H. C. (2025). *Sustainability*, 17, 1. https://doi.org/10.3390/su17072957

Despoina A. D. y Xydis G. (2020). *How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, y food safety?*. Advances in Food Security y Sustainability, 25, 5-1, https://doi.org/110.1016/bs.af2s.2020.08.002

Fussy A. y Papenbrock J. (2022). *An Overview of Soil y Soilless Cultivation Techniques*—Chances, Challenges y the Neglected Question of Sustainability. Plants, 11,9. https://doi.org/10.3390/plants11091153

Kodmany-Al K. (2018). The Vertical Farm: A Review of Developments y Implications for the Vertical City. Buildings, 8, 24, 10.3390/buildings802002410.1007/978-981-15-7470-2_8

Pulido K. N. Y Rincon A. T. (2024). *Evaluación de algunas variables de rendimiento agronómico de la espinaca (spinacia oleracea L.) bajo fertilización orgánica y convencional* . [Tesis de licenciatura.Universidad de ciencias aplicadas y ambientales] https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/4ebbd352-4e8e-4e6a-846c-f2147afeaa80/content

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2025). *Estudio estadístico de producción agrícola.* Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. x/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/produccion-agricola-404122

SIAP. https://www.gob.mSeg

Ramaiyan B., Kour J., Ahmad N. G., Anand N. y Shafiq A. M. (2020). *Spinach (Spinacia oleracea L.).* Antioxidants in Vegetables y Nuts - Properties y Health Benefits. 1,159-177.

Capítulo **87**

Frecuencia y métodos de riego en cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en zonas áridas

Alonso Castro J. Octavio[1*]
Rico Sánchez M. Antonio[1]
Zamora Salgado Sergio[1]
Murillo Chaidez Ramón A.[1]
Méndez Garfias Consuelo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur. Área Interdisciplinaria De Ciencias Agropecuarias, Departamento Académico de Agronomía. *jalonso_22@uabcs.mx.

Resumen

La escasez de agua es crítica a nivel global; pese a ello, la agricultura es la actividad que más consume este recurso, haciendo urgente la implementación de técnicas de riego eficientes. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue calcular la frecuencia y métodos de riego en cultivo de pepino en zonas áridas. El experimento se llevó a cabo en una malla sombra ubicada en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. 20 semillas de pepino fueron sembradas en charolas germinadoras; cubetas de 20 litros fueron llenadas con suelo con textura migajón arenosa. Se trabajó con dos tratamientos: riego por goteo (T1) y riego por gravedad (T2); cada tratamiento constó de ocho repeticiones y se consideró un diseño experimental de bloques al azar. Se midieron variables como la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de frutos y el rendimiento final. El tratamiento con goteo, en la fila 2, mostró los mejores resultados. La altura de la planta superó en 67 cm a los valores de las plantas de riego por gravedad; en el diámetro del tallo fue superior en un 19 % y en el rendimiento, el goteo superó en un 58 % al riego por gravedad. Esto demuestra que el riego por goteo es más eficiente que el riego por gravedad no solo en el ahorro de agua, sino también en el rendimiento del cultivo.

Introducción

El agua es un recurso fundamental para la agricultura, pero su escasez y gestión inadecuada plantean serios desafíos globales. La agricultura consume el 70 % del agua dulce disponible a nivel mundial, lo que la hace vulnerable ante la creciente competencia por este recurso (FAO, 2020). Además, los métodos de riego por inundación desperdician hasta el 50 % del agua (UNESCO, 2021). Cultivos sensibles como el pepino requieren riego constante, y su productividad disminuye drásticamente bajo el estrés hídrico (Pascual et al., 2019). Un aspecto clave para optimizar el uso del agua es el manejo adecuado de las frecuencias de riego. Estudios

demuestran que el riego por goteo en intervalos controlados, adaptados a las etapas fenológicas del cultivo, puede mejorar la eficiencia del uso del agua (WUE) hasta en un 30 % (Allen et al., 2018). En el cultivo de pepino se recomiendan riegos más frecuentes (cada 2-3 días) para promover el desarrollo radicular, floración y fructificación; además, espaciar riegos (cada 4-5 días) pero con mayor volumen es utilizado para evitar estrés hídrico, y reducir la frecuencia permite concentrar sólidos solubles en frutos (Rahil y Qanadillo, 2015). Esto confirma que la frecuencia de riego por goteo es el método más eficiente. Sin embargo, las investigaciones son limitadas. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue comparar métodos de riego en cultivo de pepino en zonas áridas.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el año 2025 en el municipio de La Paz, Baja California Sur, México, con coordenadas 24°10' de latitud norte y 110°19' de longitud oeste, a una altitud de 18 msnm. El experimento se realizó en una casa sombra; para ello se establecieron dos tratamientos con ocho repeticiones cada uno bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar. Los tratamientos fueron: T1: riego por goteo y T2: riego por gravedad. El acomodo fue de dos hileras de cuatro macetas en cada tratamiento. Cada repetición consistió en un contenedor individual con dimensiones de 29.5 cm de diámetro y con una altura de 36 cm, los cuales fueron llenados con suelo de una textura migajón arenosa (Figura 1). La siembra se realizó en charola germinadora el 25 de febrero para su posterior trasplante a los 30, el cual fue realizado el 30 de marzo. En el riego por goteo se utilizaron emisores de 4 L h^{-1} durante 2 minutos con intervalos de 2 horas. Para el riego por gravedad, el agua se aplicó en un solo momento en el día. En ambos casos, la lámina de riego aplicada es de 3 L por día. Se determinó la conductividad eléctrica y el pH del agua utilizada en el riego. La fertilización utilizada se hizo con base en la dosis de 180-90-120 de NPK recomendada por Jilani et al. (2009). Se dio seguimiento a la presencia de plagas y enfermedades durante el periodo de cultivo. El tutorado fue realizado a partir del 5 de abril, 32 días después del trasplante. Las variables consideradas fueron altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento, considerando una densidad de 25 000 plantas ha^{-1}.

Figura 1. *A) Llenado de cubetas con suelo, B) Establecimiento del experimento, C) Instalación del sistema de riego por goteo, D) Aplicación del riego por gravedad.*

Resultados y discusión

Durante este periodo hubo presencia de plagas que posiblemente se debió a la cercanía de cultivos que ya presentaban este problema. Se registró la presencia de pulgón (*Myzus persicae*), mosquita blanca (*Aleyrodidae*) y araña roja (*Tetranychus urticae*) (Figura 2), que, de acuerdo con Abou et al. (2024), son las más comunes que atacan al cultivo de pepino. Para su control se aplicó Cytrin 200 y extracto de neem para pulgón y mosquita blanca, y extracto de mostaza para araña roja.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos. No fueron los esperados por el daño que se presentó por las plagas y, en el caso de gravedad, se le suma la compactación del suelo. Se observa que el tratamiento con goteo, en la fila 2, mostró los mejores resultados de las variables consideradas. La altura de la planta superó en 67 cm a los valores de la planta de la fila 2 del riego por gravedad; en el diámetro del tallo fue superior en un 19 % y en el rendimiento, el goteo superó en un 58 % al riego por gravedad. Esto puede deberse, posiblemente, a que el riego por goteo es más eficiente que el riego por gravedad, tal como menciona Yang et al. (2023) al indicar que el riego por goteo es un método eficiente, ya que suministra agua directamente a las raíces de las plantas, permite el ahorro de esta y mejora el rendimiento de los cultivos. Además, se observó que, al aplicar el agua por gravedad, favorece la compactación del suelo. De la misma manera, se observó que los parámetros de altura de la planta, grosor del tallo, así como rendimiento y número de frutos, mejoraron en los

tratamientos bajo riego por goteo. Esto concuerda con Banik et al. (2024), quienes indican que los cultivos bajo riego por goteo exhiben parámetros de crecimiento mejorados, lo que incluye una mayor altura de la planta, índice de área foliar y acumulación de materia seca atribuidos a un contenido de humedad optimizado. Así mismo, el riego por goteo mejora significativamente el rendimiento. Esto resalta el potencial del riego por goteo para reducir la escasez de agua y aumentar la producción de los cultivos en el contexto hídrico global actual.

Cuadro 1. *Resultados de las variables evaluadas.*

Hilera	Tratamientos	Altura de la planta (cm)	G. del tallo (mm)	Rendimiento (gr)	Fruto promedio	T ha^{-1}
1	Goteo	165.5	9.4	556.4	4.66	15.65
2	Goteo	189.5	9.73	696.2	5.33	
1	Gravedad	134.5	7.84	420.2	1	9.13
2	Gravedad	122.5	7.91	304.0	3	

Conclusiones

Los resultados demostraron que el riego por goteo fue significativamente más eficiente, no solo en el ahorro de agua, sino también en el rendimiento del cultivo (expresado en toneladas por hectárea), en comparación con el método tradicional por gravedad. El estudio concluye que la implementación de sistemas de riego por goteo, ajustados según las necesidades hídricas del cultivo, es la estrategia óptima para maximizar la productividad del pepino en entornos áridos.

Referencias

Abou J. Y., Ezzeddine N., Fardoun A., Kharroubi S., Sobh H.,, Atamian H. S., Skinner M. y Parker B. (2024). *Biological Control of Three Major Cucumber y Pepper Pests: Whiteflies, Thrips, y Spider Mites, in High Plastic Tunnels Using Two Local Phytoseiid Mites.* Plants, 13, 6, 889. https://doi.org/10.3390/plants13060889

Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. y Smith M. (2018). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation y drainage paper 56). FAO

Banik B., Korav S., Guin A. y Unjia D. (2024). *Impact of Drip Irrigation on Crop Growth, Yield, Water Productivity, y Weed Dynamics: A Review.* International Journal of Environment y Climate Change. 14 (4), 739-749.

Jlani M., Bakar A., Waseem K. y Kiran M. (2009). *Effect of different levels of N-P-K on the growth y yield of cucumber (Cucumis sativus) under the plastic tunnel. J.* Agric. Soc. Sci, 5, 99–101. https://www.researchgate.net/publication/242418561_Effect_of_Different_Levels_of_NPK_on_the_Growth_and_Yield_of_Cucumber_Cucumis_sativus_Under_the_Plastic_Tunnel

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (2020). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020*. FAO.

Pascual B., Maroto J. V., López-Galarza S., San-Bautista A. y Alagarda J. (2019). *Respuesta del pepino (Cucumis sativus L.) a diferentes regímenes de riego deficitario controlado.* Horticultura Brasileira, 37, 2, 141-148. https://doi.org/10.1590/s0102-053620190202

Rahil M. H. y Qanadillo A. (2015). *Effects of different irrigation regimes on yield y water use efficiency of cucumber crop.* Agricultural Water Managment, 148, 10-15. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.005

World Water Assessment Programme. (2021). *The United Nations world water development report 2021: valuing water.* France, UNESCO.

Yang P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H. y Qian L. (2023). R*eview on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, y Water Productivity in China.* Water, 15,9. https://doi.org/10.3390/w15091733

Capítulo **88**

Contenido de clorofila en acelga tratada con bioestimulante a base de agua de mars

Quintero Angie Natalia[1*]
Zamora Salgado Sergio[1]
Arce Amézquita Pablo Misael[1]
Ruíz Espinoza Francisco Higinio[1]
Beltrán Morales Félix[1]
Alfredo[1]
Murillo Chaidez Ramón Alejandro[1]
Méndez Garfias Consuelo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur. *aquintero_22@alu.uabcs.mx.

Resumen

La acelga es una hortaliza de hojas verdes que se comercializa ampliamente en el mundo. Diversos estudios han demostrado que es un cultivo tolerante a la salinidad y que es posible su producción con agua de mar. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación foliar de agua de mar, lixiviado y fertilizante comercial (Comoscel). El experimento se realizó en una casa sombra ubicada en la Universidad Autónoma de Baja California Sur, bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: Cosmocel (20 g L^{-1}), lixiviado de lombriz (10 ml L^{-1}), precipitado de agua de mar (10 ml L^{-1}) y precipitado de agua de mar (20 ml L^{-1}). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones. Las aplicaciones se realizaban dos veces por semana y se medía ancho y largo de las hojas. Las variables a considerar fueron área foliar, peso de hojas, índice SPAD y concentración de clorofilas a y b. Los resultados mostraron que el tratamiento con 20 ml L^{-1} de precipitado de agua de mar registró los valores más altos en número de hojas, peso fresco y concentración de clorofila (529.1 μg/g de clorofila a y 203.9 μg/g de clorofila b). El lixiviado de lombriz presentó también una alta actividad fotosintética, mientras que la dosis de 10 ml L^{-1}) de precipitado de agua de mar fue la menos efectiva. Esto demuestra que la aplicación de precipitado de agua de mar 20 ml L^{-1} actúa como bioestimulante e incrementa el contenido de clorofila, lo que favorece la eficiencia fotosintética en acelga.

Introducción

Durante décadas se han llevado a cabo exhaustivas investigaciones para estudiar los efectos del agua de mar en muchos cultivos, ya sea mediante riego o pulverización foliar, con el fin de mejorar el rendimiento y la calidad (Rashad et al., 2021). El agua de mar se puede usar como fertilizante para las plantas, ya que contiene todos los minerales necesarios para la

vida. El precipitado contiene 83 elementos presentes en el agua de mar; no solo magnesio, calcio, potasio y fósforo, que son esenciales para el crecimiento del cultivo, sino también otros minerales diversos como yodo, manganeso, molibdeno, cobalto, selenio y zinc.

Lu et al. (2025) destacan que estudios recientes han demostrado que la aplicación de agua de mar de manera foliar ha tenido efectos positivos en algunas diluciones y con ciertos parámetros, que el NaCl diluido puede mejorar temporalmente la eficiencia fotosintética y el metabolismo en algunas plantas. Asimismo, Turhan (2014) reporta que, en cultivos hortícolas, las soluciones salinas que han sido preparadas con agua de mar diluida (entre el 5 y el 10 %, e incluso hasta 20 % dependiendo de la especie) han conservado grandes rendimientos, mejorado la eficiencia en el uso del agua y, en algunos casos, favorecido sus atributos nutritivos. Zheng et al. (2013) dicen que las pulverizaciones foliares con agua de mar no afectaron al crecimiento vegetativo en manzanos Fuji/M.9; que el área foliar, el peso fresco de las hojas, el alargamiento de los brotes y el contenido de clorofila no difirieron significativamente de los de las plantas de control. Por otro lado, Turhan et al. (2014) reportan que, en un cultivo de lechuga, bajas concentraciones de agua de mar son adecuadas para la producción de este cultivo y que se puede cultivar con éxito al utilizar agua de mar diluida en concentraciones del 2,5 % y del 5 %. Lu et al. (2025) señalan que la pulverización foliar de 10–15 mM de NaCl, un método económico y beneficioso, mejora la eficiencia fotosintética, lo que promueve la formación y acumulación de nutrientes del fruto de fresa en períodos de alta temperatura en invernaderos.

La cuantificación de la clorofila proporciona información importante sobre los efectos del entorno en el crecimiento vegetal. Las clorofilas de las plantas superiores consisten en clorofila a como pigmento principal y clorofila b como pigmento accesorio. Ambas clorofilas son componentes de las membranas fotosintéticas y se presentan en una relación (a/b) de aproximadamente 3 a 1. Las condiciones de crecimiento y los factores ambientales pueden modificar esta proporción a/b. Las plantas expuestas a mucha luz (cloroplastos de mucha luz) exhiben proporciones a/b de 3,2 a 4, mientras que las plantas de sombra (cloroplastos de poca luz) poseen valores más bajos para la proporción a/b (2,5 a 2,9).

Dentro de las múltiples variedades de las hortalizas, existe una en especial que destaca por sus peculiares e inusuales características: la acelga

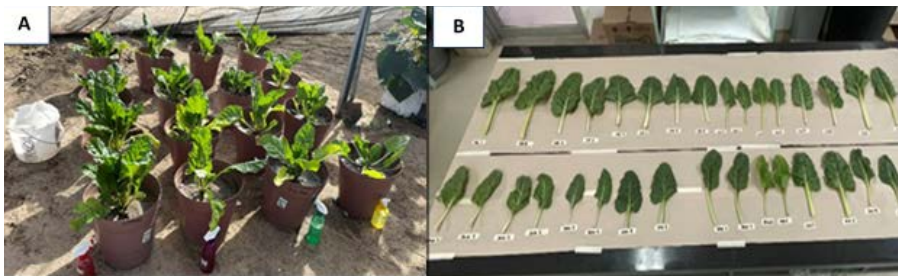
(*Beta vulgaris* var. cicla), ya que contiene mecanismos fisiológicos y osmóticos que le permiten crecer en suelos o aguas de riego salino. (Shannon y Grieve, 1999). Por lo expuesto, el objetivo planteado en el presente trabajo es determinar el contenido de clorofila en el cultivo de acelga con la aplicación foliar de agua de mar.

Materiales y métodos

El estudio se estableció en una casa sombra ubicada en el campo agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), situada en el km 5.5 de la Carretera al Sur, en la Ciudad de La Paz, con coordenadas 24°10´ latitud norte y 110°19´ longitud oeste, a 18 metros sobre el nivel del mar. Se consideraron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos fueron: T1 Cosmocel^{MR} (20 g L^{-1}), lixiviado de lombriz (10 ml L^{-1}), T3, precipitado del agua de mar (10 ml L^{-1}) y el T4, precipitado de agua de mar (20 ml L^{-1}). Se utilizaron macetas de 30 cm de diámetro y 30 cm de alto que se llenaron con el suelo del campo agrícola que presenta una textura migajón arenosa con un 76 % de arena. Previamente al trasplante, que se realizó el día 25 de marzo, se aplicó un volumen de 3 L de agua por maceta para llevar el suelo a capacidad de campo. Posteriormente, se regaba todos los días al aplicar un volumen de 500 ml. El precipitado se obtuvo ajustando el pH del agua de mar a 10.7 mediante la adición de hidróxido de sodio (NaOH). La solución se dejó decantar durante 24 horas y el material sedimentado fue recolectado cuidadosamente con pipeta para su uso en los tratamientos T3 y T4. La aplicación de los tratamientos se realizó los días lunes y jueves por espacio de ocho semanas y procura que la hoja quedara cubierta tanto en el haz como en el envés. Las variables consideradas fueron: largo y ancho de hoja, peso promedio de hoja. Conductividad eléctrica (CE) y clorofila a y clorofila b. Las hojas cosechadas fueron trituradas y mezcladas con agua destilada para obtener el extracto y determinar la conductividad eléctrica. Para la determinación de clorofila se utilizaron muestras de hojas con peso de 0.5 g y se mezclaron con 10 mL de una solución compuesta por 200 mL de acetona (80 %) y 50 mL de agua destilada (20 %), siguiendo el protocolo de Hu et al. (2013). Las muestras se refrigeraron durante

12 horas, luego se centrifugaron por 5 minutos a 5000 rpm y se leyeron en espectrofotómetro con longitudes de onda de 663.2, 646.8 y 470 A. El blanco utilizado fue la misma mezcla de acetona y agua destilada.

Figura 1. *Establecimiento de macetas en campo (A), y hojas cosechadas para el trabajo en laboratorio (B).*



Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se observa que, en los tratamientos evaluados, el que presentó el mejor resultado fue el tratamiento con 20 mL de PAM, con un mayor número de hojas, peso y clorofila A y B, mientras que el tratamiento de 10 mL de PAM presentó el menor valor en todas las variables evaluadas respecto al resto de tratamientos.

Cuadro 1. *Resultados obtenidos en cada tratamiento evaluado.*

Tratamiento	Concentración	Largo hojas	Ancho hojas	No. Hojas	Peso hojas (g)	Clorofila A	Clorofila B
Cosmocel	20 g L^{-1}	21.7	13.1	22.8	87.1	223.5	74.0
Lixiviado	10 ml L^{-1}	23.3	11.6	22.5	58.3	402.7	141.6
Precipitado de agua de mar 10 mL	10 ml L^{-1}	19.2	11.4	15.8	79.7	221.0	66.9
Precipitado de agua de mar 20 mL	20 ml L^{-1}	20.2	12.9	27.0	118.7	529.1	203.9

Los resultados muestran que las hojas del tratamiento de 20 ml del PAM tienen la mayor área foliar y el contenido de clorofila más elevado (529.1 μg/g), que se traduce en mayor actividad fotosintética. En contraste, el

tratamiento de 10 ml de PAM presenta los menores efectos en términos fisiológicos. El efecto positivo sobre el contenido de clorofila en las hojas de acelga se puede deber al aporte de los micronutrientes que contiene y que son esenciales para el desarrollo de los cultivos: Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B y Mo, que en pequeñas cantidades son esenciales para la fotosíntesis. Un aumento del Mg, que es el átomo central de la molécula de clorofila, favorece directamente su síntesis. De igual forma, el Fe interviene en la formación de proteínas y enzimas que participan en la síntesis de clorofila.

Conclusión

El agua de mar diluida actúa como una solución bioestimulante al mejorar la disponibilidad de nutrientes y activa enzimas relacionadas con el metabolismo fotosintético. El efecto positivo sobre el contenido de clorofila en las hojas de acelga puede deberse al aporte de los micronutrientes que contiene y que son esenciales para el desarrollo de los cultivos: Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B y Mo, que en cantidades pequeñas son esenciales para la fotosíntesis. Un aumento del Mg, que es el átomo central de la molécula de clorofila, favorece directamente la síntesis de esta. De igual forma, el Fe interviene en la formación de proteínas y enzimas que participan en la síntesis de clorofila.

Referencias

Lu W., Fan H., Zhang Y., Cai B., Wang X., Xue Z. y Li Q. (2025). *Low-concentration NaCl foliar spraying enhances photosynthesis, mineral concentration, y fruit quality of strawberry during greenhouse high-temperature periods.* BMC Plant Biology, 25, 487, 1-13. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06518-6

Rashad-Javeed H. M., Wang X., Ali M., Nawaz F., Qamar R., Rehman A. U., Shehzard M., Mubeen M., Shabbir R., Javed T., Brance F., Ahmar S. y Ismail I A. (2021). *Potential utilization of diluted seawater for the cultivation of some summer vegetable crops: Physological y nutritonal implications.* Agronomy.. Potential Utilization of Diluted Seawater for the Cultivation of Some Summer Vegetable Crops: Physiological y Nutritional Implications. Agronomy, 11(9), 1-14. https://doi.org/10.3390/agronomy11091826

Shannon M. C. y Grive C. M. (1998). *Tolerance of vegetables crops to salinity.* Scientia Horticulturae, 78(1-4), 5-38. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00189-7

Turhan A., Kuscu H., Ozmen N., Turhan A., Kuscu H., Ozmen N., Sitki S. M. y Demir A. O. (2014). *Effect of different concentrations of diluted seawater on yield y quality of lettuce.*

Sitki S. M. y Demir.A. O. (2014). *Effect of different concentrations of diluted seawater on yield y quality of lettuce.* Chilean journal of agricultural research. Chilean J. Agric. Res., 47,1, 1-6. https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000100017

Zheng W. W., Chun I. J., Hong S. B. y Zang Y. X. (2013) V*egetative growth, mineral change, y fruit quality of 'Fuji' tree as affected by foliar seawater application.* Agricultural Water Management, 126, 97-103. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.010.

Hu X. y Tanaka A. (2013). *Simple extraction methods that prevent the artifactual conversion of chlorophyll to chlorophyllide during pigment isolation from leaf samples.* Plant Methods 9. 19. http://www.plantmethods.com/content/9/1/19.

Capítulo **89**

Glicina-betaina en el crecimiento de variedades de frijol común bajo estrés hídrico

Castro Espinoza Alondra Guadalupe[1]
Romero Félix Celia Selene[1*]
Almada Ruiz Víctor Gabriel[1]
Sánchez Soto Bardo Heleodoro[1]
Sauceda Acosta Raúl Hipólito[1]

[1] Universidad autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Calle 16 y Avenida Aparqui, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México. C.P 811101. *celiaromero@uas.edu.mx.

Resumen

El uso de bioestimulantes influye de manera positiva en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un bioestimulante a base del aminoácido glicina-betaina en el crecimiento de planta de tres variedades de frijol común bajo riego y sequía, en condiciones de invernadero. Este trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar 2 x 2 x 3, dos niveles de humedad (riego y sequía) y dos niveles de aplicación del aminoácido glicina-betaina (con y sin aplicación) y tres variedades de frijol (Pinto Saltillo, Azufrado Reyna y Azufrado Regional 87). Se evaluó la altura de planta (AP y cm) desde los 18 hasta los 95 DDS, cada siete días. El análisis de varianza solo detectó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre niveles de humedad y variedad, para la AP. En riego, se observó mayor AP con respecto a sequía, mientras que, en variedades, la Pinto Saltillo fue sobresaliente por mostrar altos valores en AP comparada con Azufrado Reyna y Azufrado Regional 87.

Introducción

El frijol es una de las especies más relevantes en términos de nutrición, cultura, sociedad y agricultura (Morales-Morales et al., 2023). Este cultivo es uno de los 14 cultivos esenciales producidos a nivel nacional (González, 2021). No obstante, su producción se ve afectada por factores bióticos y abióticos. Entre los factores abióticos está la sequía, la cual disminuye la productividad y el crecimiento de las plantas. El-Hay et al. (2022) señalan que la disminución de la altura de planta, el área foliar y el peso fresco y seco por efecto del estrés hídrico puede ser ocasionada por la pérdida de agua en los tejidos, lo cual reduce la presión de turgencia celular y bloquea tanto la elongación como la división celular. Una opción para reducir estos efectos adversos es activar los mecanismos de defensa de la planta

a través de la utilización de productos bioestimulantes asociados con su respuesta a dichos factores (Villa-Castorena et al., 2016), como el empleo de aminoácidos para potenciar y/o conservar el crecimiento vegetal en situaciones de estrés hídrico (El-Hay et al., 2022). Diversos estudios realizados en condiciones de campo e invernadero indican que la aplicación del aminoácido glicina-betaína aumenta la tolerancia al estrés hídrico en cultivos como cereales, nabo, soya, tomate, algodón y frijol (Villa-Castorena et al., 2016). Los aminoácidos juegan un papel importante en procesos fisiológicos de la planta, como la fotosíntesis, la polinización y la absorción y transporte de nutrientes. Además, estimulan el crecimiento celular al actuar como amortiguadores para mantener la presión osmótica ante condiciones adversas (Peña et al., 2017). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un bioestimulante a base del aminoácido glicina-betaina en el crecimiento en altura de planta de tres variedades de frijol común bajo riego y sequía en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

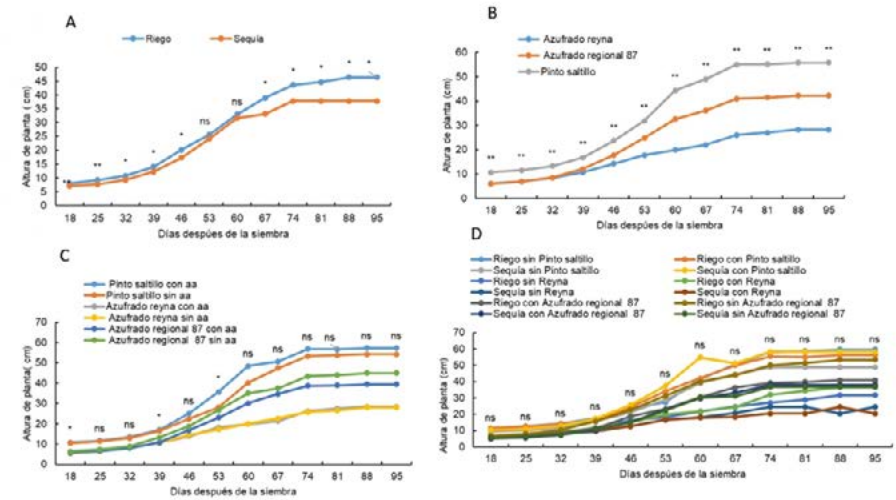
Este estudio se llevó a cabo en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, en el ciclo otoño-invierno de 2024-2025, en un invernadero tipo túnel. Se sembraron tres variedades de frijol (Azufrado Reyna, Pinto Saltillo y Azufrado Regional 87) el 21 de noviembre de 2024, en charolas de unicel de 242 cavidades. 15 días después de la siembra (DDS) se trasplantó en bolsas de polipropileno con capacidad de 9 kg y se utilizó una mezcla de 60 % tierra franco arenosa y 40 % arena. La fertilización se realizó previo a la siembra con triple 19. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3, dos niveles de humedad (NH, riego y sequía), dos niveles de aplicación de un bioestimulante con base en el aminoácido glicina-betaina (con y sin aplicación) aplicada vía foliar a los 63, 70, 77 y 83 DDS, y tres variedades de frijol (Azufrado Reyna, Pinto Saltillo y Regional 87) y cuatro repeticiones (unidad experimental de tres bolsas). Las bolsas se llevaron a su capacidad de campo (CC) antes de comenzar los tratamientos, estableciendo su peso inicial a CC (PICC) desde los 14 hasta los 98 días después de la siembra (DDS). Con el objetivo de añadir el agua necesaria para alcanzar el PICC del suelo de cada maceta y mantener la humedad cerca de CC, se estableció que cada semana se midiera

la cantidad de agua perdida a través del pesaje de las bolsas. Al iniciar los tratamientos (77 dds), las bolsas continuaron pesándose; no obstante, se aplicó agua únicamente en las bolsas del tratamiento de riego; en cambio, en las de sequía solo se registró el peso de la bolsa sin añadir agua. Se midió la altura de planta (AP y cm) desde la base del tallo hasta el ápice y de los 18 DDS hasta la madurez fisiológica (95 DDS), cada siete días. Los datos se analizaron con el programa Infostat® en forma combinada para determinar las diferencias entre los niveles de humedad del suelo (H), de aplicación de los bioestimulantes (AA), de variedades (V) y las interacciones HxAA, HxV, AAxV y HxAAxV. Se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias.

Resultados y discusión

El análisis de varianza solo detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre niveles de humedad para AP desde los 18 hasta los 95 DDS, excepto a los 53 y 60 DDS; entre variedades desde los 18 hasta los 95 DDS; y en la interacción variedad por niveles de aplicación de aminoácidos a los 18, 39 y 53 DDS. En condiciones de riego, la AP fue mayor que en sequía, en un rango de 4,04 % a 19 % desde los 18 hasta los 95 DDS (Figura 1A). Al respecto, Romero-Félix et al. (2024) y Luna-Guerrero et al. (2023) determinaron mayor altura de planta en condiciones de riego que en sequía. La variedad Pinto Saltillo destacó por presentar mayor AP con valores medios mayores que Azufrado Reyna y Azufrado Regional 87, desde los 18 hasta los 95 DDS (Figura 1B); en la interacción niveles de aplicación de aminoácidos por variedad, Pinto Saltillo fue sobresaliente por presentar mayor AP durante todo el ciclo del cultivo, desde los 18 hasta los 95 DDS (Figura 1C). Por otro lado, Calzada et al. (2024) y Arjona et al. (2004) indican que el uso de aminoácidos en las plantas actúa como un estimulante natural del crecimiento, fomenta la disponibilidad de nutrientes, actúa como precursor de hormonas y potencia la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática, lo cual beneficia el adecuado desarrollo y crecimiento de las plantas.

Figura 1. *A: Altura de planta bajo condiciones de riego y sequía; B: Altura de planta de variedades de frijol; C: Altura de planta en niveles de aplicación de aminoácidos por variedad; D: Altura de planta en condiciones de riego y sequía, con y sin la aplicación del bioestimulantes en las tres variedades de frijol común. Ciclo otoño-invierno 2024-2025. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Sinaloa. **(p ≤ 0.01), *(p ≤ 0.05) de probabilidad, ns: no significativo.*



Conclusiones

La altura de planta fue mayor en condiciones de riego que en sequía. Mientras que el bioestimulante tuvo efecto positivo en el crecimiento en altura de planta, siendo la variedad Pinto Saltillo la que presentó mayor altura que las variedades Azufrado Reyna y Azufrado Regional 87.

Referencias

Arjona, H., Herrera, J. E., Gómez, J. A., y Ospina, J. (2004). *Evaluación de la aplicación de urea, melaza y aminoácidos sobre el crecimiento y rendimiento de la cebolla de bulbo (Allium cepa L. Grupo cepa) híbrido yellow granex, en condiciones de la Sabana de Bogotá.* Agronomía Colombiana, 22(2), 177-184.

El-hay, I. A., Badr, l. A., Mohamed, H. M. y Amer, A. H. (2022). *Efecto de la pulverización foliar de algunos aminoácidos en las necesidades hídricas de las*

plantas de judía verde (Phaseolus vulgaris L.). Anales de Ciencias Agrícolas, Moshtohor. 60(2), 457-468.

Romero-Félix, C. S., Sánchez-Inzunza, C. A., Ruelas-Islas, J. R., López-Valenzuela, B. E., Buelna-Tarín, S., Almada-Ruiz, V. G. (2024). *Uso de Glomus intraradices para el crecimiento de frijol Azufrado Higuera en etapa vegetativa en riego y sequía.* Rev. Cienc. Agron. Apl. Biotecnol., 4, 121-125.

González, J. A. (2021). *Rendimiento y componentes en frijol (Vigna unguiculata l.), e ibe (Phaseolus).* Instituto tecnológico de china. Tecnológico nacional de México, 80.

Luna-Guerrero, M. J., y López-Castañeda, C. (2023). *Variabilidad genética en biomasa aérea y sus componentes en alfalfa bajo riego y sequía.* Revista mexicana de ciencias pecuarias, 14(1), 39-60.

Morales-Morales, A., Márquez-Quiroz, C. y López-Espinosa, S. (2023). *Importancia económica y nutricional del fréjol xpelón: Las. Centro*, 15, 217-223.

Peña, C.C., Rodríguez, J.C, Olivera, D., León-Orellana, N., Lugones, Y. (2017). *Efecto de un promotor del crecimiento en el comportamiento productivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.).* Avances en Investigación Agropecuaria 21, 35-45.

Calzada, K. P., Hurtado, A. C., Peistrup, V., Mühlmann, I., Miranda, D. R., Coca, L. I. R., y Fernández, J. C. R. (2024). *Respuestas fisiológicas y productivas de plantas de remolacha tratadas con una solución de aminoácidos.* Temas agrarios, 29(1), 113-125.

Villa-Castorena, M. M., Catalán-Valencia, E. A., Inzunza-Ibarra, M. A., Rodríguez, H. M., y del Rosario, M. (2016). *Crecimiento de plantas de frijol como una respuesta a la aplicación foliar de sustancias químicas.* Agrofaz, 16(2).

Capítulo **90**

Evaluación de bioestimulantes en el desarrollo foliar y radicular de la acelga

Ramirez Nuñez Oscar Patricio[1*]
Quintero Zarrate Angie Natalia[1]
Meza Perez Clara Alicia Guadalupe[1]
Zamora Salgado Sergio[1]
Espinoza Ruiz Francisco Higinio[1]
Beltran Morales Felix Alfredo[1]
Murillo Chaidez Ramon Alejandro[1]
Mendez Garfias Consuelo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur, Área interdisciplinaria de Ciencias Agropecuarias, Departamento Académico de Agronomía. *oscarpatrr_22@alu.uabcs.mx.

Resumen

La acelga (*Beta vulgaris* var. cycla) es una hortaliza de hojas verdes y tallos engrosados; el uso de bioestimulantes como el vermicompost, sus lixiviados y el uso de agua de mar pueden mejorar su desarrollo radicular y foliar. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto de cuatro bioestimulantes en relación al desarrollo foliar y radicular en acelga. El experimento se realizó en una malla sombra ubicada en el campo de la Universidad Autónoma de Baja California Sur; se aplicaron cuatro tratamientos: Lixiviado, Cosmocel 20-30-10, agua de mar al 10 % y al 20 %; cada tratamiento contó con cuatro repeticiones; el diseño experimental fue completamente al azar; los tratamientos se aplicaron de manera foliar dos veces por semana los días lunes y jueves. Las variables evaluadas fueron largo, ancho, peso húmedo y seco de la raíz, largo y ancho de las hojas y área foliar. Los resultados mostraron que el cosmocel fue el tratamiento más efectivo al promover mayor biomasa radicular y área foliar. El tratamiento con 20 ml de precipitado de agua de mar presentó un efecto positivo en el área foliar, aunque menor en la biomasa; el lixiviado de lombriz destacó en el área foliar, pero con menor biomasa radicular; por otro lado, que la dosis de 10 ml de precipitado de agua de mar resultó insuficiente, mostrando los valores más bajos en ambas variables. En conclusión, los tratamientos con Cosmocel 20-30-10 y precipitado de agua de mar 20 ml influyen de manera positiva en el crecimiento radicular y área foliar de la acelga.

Introducción

La acelga (*Beta vulgaris* var. cycla) es una hortaliza de hojas verdes y tallos engrosados (Medina et al., 2017). Presenta un sistema radicular muy ramificado y hojas anchas y largas (Holger, 2015). Estudios específicos han demostrado que una de las alternativas para estimular los procesos de crecimiento y desarrollo de hojas y raíces es el empleo de bioestimulantes

orgánicos tales como el vermicompost, sus lixiviados y el uso de agua de mar (Héctor et al., 2020). Por ejemplo, el agua de mar diluida puede ayudar a la biofortificación de los cultivos hortícolas y mejorar el estado nutricional de las hojas. Además, mejora la producción de metabolitos secundarios con alto valor nutricional, aumentando también el valor organoléptico de algunos cultivos (Atzori et al., 2016). Sin embargo, el efecto de bioestimulantes en el desarrollo foliar y radicular en acelga ha sido escaso. El objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto de cuatro bioestimulantes (lixiviado, Cosmocel 20-30-10, agua de mar al 10 % y al 20 %) con relación al desarrollo foliar y radicular en el cultivo de acelga.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en una malla sombra ubicada en el campo de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, en la Ciudad de La Paz, localizada en 24°06'03.2"N 110°19'01.6"W. Dentro de la malla sombra se establecieron 16 macetas de plástico con un diámetro de 30 cm y una altura de 20 cm. El diseño experimental fue completamente al azar y contó con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos para evaluar fueron: T1: Cosmocel 20-30-10; T2: lixiviado de lombriz; T3: 10 ml de precipitado de agua de mar (PAM) y, T4: 20 ml de precipitado de agua de mar. Para obtener este precipitado, se elevó el pH del agua de mar a 9.8 con hidróxido de sodio al 10 %. Se sembró una charola de germinación para su posterior trasplante, que se realizó un mes después de la emergencia. Previo al trasplante, se llevó el suelo a capacidad de campo, para lo cual fue necesaria la aplicación de 3 L de agua para cada maceta. Los tratamientos se aplicaron en forma foliar dos veces por semana, procurando que todas las hojas quedaran bien cubiertas por la solución. Se midió el ancho y la longitud de las hojas utilizando una regla de 30 cm. Para la raíz, se sacaron las plantas de acelgas con todo y raíz de las macetas, procurando no dañarlas. Posteriormente, se llevaron al laboratorio para medir el ancho y largo del sistema radicular, así como el peso húmedo. Después se colocaron en un horno por 24 horas para obtener su peso seco. Los datos se organizaron en Excel y se realizó el análisis de varianza utilizando el programa Estadística de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 2012).

Resultados

En el Cuadro 1 se muestran los valores de las variables consideradas de raíz y hoja evaluadas en los cuatro tratamientos. Para el análisis de varianza para el peso seco de la raíz (PSR) y el área foliar (AF) se utilizó el paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 1.0 (Olivarez, 2012). En ambas variables no se observó diferencia significativa, ya que para el PSR la Fc fue de 0.697 y la significancia al 5 % fue de 0.571, mientras que para el AF los valores obtenidos fueron de 0.240 y 0.867 para la Fc y significancia, respectivamente. Esto indica que, desde el punto de vista estadístico, no existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al peso seco de la raíz y el área foliar, lo que significa que los resultados obtenidos para estas variables pueden considerarse estadísticamente similares entre sí.

Cuadro 1. *Valores de raíz y hoja del cultivo de la acelga.*

Tratamientos	RAÍZ					Hoja		
	Largo (cm)	**Ancho (cm)**	**PH* (g)**	**PS* (g)**	**% H***	**Largo cm**	**Ancho cm**	**Área foliar cm²**
Cosmocel 20-30-10^{MR}	16.2	7.3	86.2	48.8	43.4	20.0	13.1	208.8
lixiviado	12.3	5.5	66.1	32.7	50.4	21.5	11.6	200.2
10 ml PAM*	14.8	5.5	49.2	25.9	47.3	18.8	11.4	170.9
20 ml PAM	17.0	6.8	61.5	33.3	45.8	20.3	12.9	208.4

PAM Precipitado de agua de mar; pH, peso húmedo de la raíz; PS, peso seco de la raíz; % H, porcentaje de humedad de la raíz.

En la Figura 1 se observa que el tratamiento con Cosmocel 20-30-10 fue más efectivo en términos de biomasa y grosor radicular (A); el tratamiento de 20 ml de PAM desarrolló raíces de buen tamaño, aunque con menor peso seco (B); los tratamientos de lixiviado (C) y 10 ml de PAM (D) mostraron menor desarrollo, aunque el lixiviado retuvo mayor cantidad de agua. En cuanto al porcentaje de humedad, el valor oscila entre 43 % y 50 % y el análisis no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indica, desde el punto de vista estadístico, que todos los tratamien-

tos se comportan de manera similar en cuanto a retención de humedad, lo cual es bastante típico en estudios de biomasa vegetal.

En el área foliar, Cosmocel 20-30-10 y 20 ml de PAM fueron más efectivos para promover el desarrollo foliar. El tratamiento de 10 ml de PAM reflejó un efecto limitado, posiblemente por menor disponibilidad de nutrientes o la concentración. El lixiviado generó hojas largas, pero menos anchas, lo que podría estar relacionado con una respuesta adaptativa o con el tipo de compuesto aplicado.

Figura 1. *Desarrollo redicular en acelgas con A) Cosmocel, B) 20ml PMA, C) Lixiviado, D) 10ml PMA*

La Figura 2 muestra la interacción de área foliar y peso de la raíz. Se observa que el Cosmocel 20-30-10 destaca como el tratamiento más equilibrado y vigoroso: mayor biomasa radicular y máxima área foliar. Esto sugiere una planta con alta capacidad de absorción de nutrientes y agua, y excelente potencial fotosintético.

El tratamiento de 20 ml de PAM tiene un área foliar comparable a Cosmocel 20-30-10, pero el peso seco de la raíz más bajo podría indicar que el exceso de sales o la concentración empieza a afectar el desarrollo radicular, aunque no el crecimiento foliar. El lixiviado muestra buena área foliar, ya que su peso seco de raíz es significativamente menor, lo que indica que favorece el crecimiento aéreo más que la masa radicular, y el tratamiento, 10 ml de PAM, fue el menos efectivo en ambos aspectos: menor área foliar y menor biomasa radicular, de lo que se puede inferir que es una dosis insuficiente de nutrientes o un efecto limitante. Se observó que Cosmocel destacó como

el tratamiento más efectivo al promover una mayor biomasa radicular y foliar en la acelga, lo que se debe posiblemente a que la aplicación foliar con Cosmocel es rica en contenido de nitrógeno, que posiblemente estimuló el crecimiento y biomasa de raíces. Esto concuerda con Monsalve et al. (2009), quienes explican que la fertilización nitrogenada aumenta significativamente la biomasa aérea y radical, el crecimiento en diámetro de cuello y altura de plantas, obteniéndose mejores resultados. Por su parte, el tratamiento con 20 ml de precipitado de agua de mar de igual modo mostró un efecto positivo en el crecimiento foliar, aunque con menor masa radicular, esto posiblemente a la alta presencia de sales que presenta el agua de mar, que pudo impedir una proliferación mayor de raíces. De acuerdo con Rashad et al. (2021), mencionan que la mayoría de los vegetales son sensibles a un ambiente salino, y se observan disminuciones en el rendimiento con niveles moderados a altos de estrés salino en la zona de enraizamiento de la planta.

Conclusiones

Los tratamientos aplicando Cosmocel 20-30-10 y agua de mar al 20 ml fueron los más efectivos para promover el crecimiento vegetativo y radicular en la acelga, mientras que el tratamiento con precipitado de agua de mar con 10 ml mostró los valores más bajos en raíz y hojas.

Referencias

Atzori G. Guidi-Nissim W., Caparrotta S., Masi E., Azzarello E., Pandolfi C., Vignolini P., Gonnelli C. y Mancuso S. (2016). *Potential y constraints of different seawater y freshwater blends as growing media for three vegetable crops.* Agricultural Water Management, 176, 255-262, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.016

Hector-Ardisana E., Torres-Garcia A., Fosado-Tellez O., Peñarrieta-Bravo S., Solorzano-Bravo J., Jarre-Mnedoza V. y Montoya B. J. (2020). *Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador.* Cultrop, 41, 4, 1-14.

Holger Manuel C. V. (2015). *Comportamiento Agronómico Del Cultivo De Acelga (Beta Vulgaris L) Con Diferentes Abonos Orgánicos en la finca experimental la maria.* Quevedo-Los Rios-Ecuador.

Medina-SaavedramT., Arroyo-Figueroa G., García-Viera M. I. y Dzul-Cauich Jorge Gustavo. (2017). *Producción de acelgas (Beta vulgaris var. cycla) mediante el uso de microorganismos de montaña y Azospirillum brasilensis.* Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias,10, 36-42.

Monsalve J., Escobar R., Acevedo M., Sanchez M. y Coopman R. (2009). *Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de Eucalyptus globulus producidas a raíz cubierta.* Bosque (Valdivia), 30,2, 88-94. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002009000200004

Olivares-Saenz E. 2012. *Programa estadístico.* Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) versión 1.0.

Rashed-Javeed H. M., Wang X., Ali M., Nawaz F., Qamar R., Rehman A. U., Shehzad M., Mubeen M., Shabbir R., Javed T., Branca F., Ahmar S. y Ismail I. A. (2021). *Potential Utilization of Diluted.*

Capítulo **91**

Caracterización bromatológica de la harina de semilla de dátil de dos variedades

Pacheco Preciado Odalis[1*]
González Mendoza Daniel[1]
Mendez-Trujillo Vianey[2]
Tzintzun Camacho Olivia[1]
Duran Hernández Dagoberto[1]
Basilio Cortes Ulin[1]
Galicia Juárez Marisol[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. *odalis.pacheco@uabc.edu.mx.
[2] Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de medicina.

Resumen

El dátil, un fruto considerado de alto valor debido a sus propiedades nutricionales, uno de los principales desechos es la semilla, la cual puede ser considerada un subproducto para aprovechar sus compuestos. El presente estudio evaluó la composición proximal de la harina de semilla de dátil de dos variedades, Deglet Nour y Medjool, con la finalidad de identificar posibles diferencias en sus características nutricionales. Los resultados obtenidos evidenciaron que ambas variedades contienen niveles significativos de materia seca, grasas y fibra detergente neutro (FDN). La variedad Deglet Nour presentó un mayor porcentaje de materia seca (99,66 %) en comparación con Medjool (94,92 %), mientras que Medjool mostró un mayor contenido de cenizas (1,87 %) en relación con Deglet Nour (1,37 %). En el contenido de grasas, destacó Deglet Nour (7,61 %); el de Medjool (7,11 %), y el de FDN tuvo una mínima variación, donde el más elevado fue Medjool (65,66 %) en comparación con Deglet Nour (62,24 %). En cuanto a la proteína cruda, fibra detergente ácida (FDA) y lignina, no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades, lo que indica una composición bastante similar en estos nutrientes. Los valores coinciden con los rangos reportados en estudios previos, lo que confirma la confiabilidad de los resultados obtenidos. Esta similitud sugiere que ambas variedades poseen un potencial comparable para su aprovechamiento en la industria alimentaria, especialmente en la elaboración de productos ricos en fibra dietética y compuestos bioactivos. En general, la harina de semilla de dátil constituye una alternativa con alto valor agregado y un potencial de aplicación en la formulación de alimentos funcionales.

Introducción

El dátil (*Phoenix dactylifera* L.) es una especie ampliamente cultivada en regiones áridas y semiáridas, y es considerado un frutal de alto valor que

se comercializa en todo el mundo (Al-Faris et al., 2021). El fruto ha sido apreciado durante siglos por su alto contenido energético, su perfil nutricional y su versatilidad en la industria alimentaria (Ashraf y Hamidi-Esfahani, 2011). La composición nutrimental de los dátiles aproximadamente es de 1 % de grasa, proteínas 2 % y cenizas 2 %. Además, contiene varios minerales esenciales. Estructuralmente, el dátil consta de dos partes: un pericarpio comestible y una semilla, la cual representa del 10 % al 18 % del peso del fruto, dependiendo de la variedad (Guido et al., 2011; Chandrasekaran y Bahkali, 2013). La semilla de dátil es rica en proteínas, grasas, fibra dietética, compuestos fenólicos y antioxidantes, además de varios minerales como sodio, potasio, magnesio, entre otros (Al Farsi y Lee 2008; Afiq et al., 2013). Por lo anterior, las semillas del dátil, por su valor nutritivo, pueden ser procesadas para la obtención de harina (Bouaziz et al., 2010). El interés por la harina de dátil radica en su alto contenido de carbohidratos, fibra dietética, minerales esenciales y compuestos bioactivos, como los polifenoles, que le confieren propiedades antioxidantes y beneficios potenciales para la salud. La obtención de harina a partir de la semilla de dátil y su posterior caracterización nutrimental resultan fundamentales para evaluar su viabilidad como alternativa en la formulación de productos más saludables y con valor agregado. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo determinar el contenido nutrimental de la harina de semilla de dátil. Que permita contribuir al desarrollo de alternativas más sostenibles y saludables dentro de la industria alimentaria, fomentando el aprovechamiento integral de los recursos naturales y la innovación en la formulación de nuevos productos.

Materiales y métodos

Frutos de dátil

Los frutos de dátil (*Phoenix dactylifera* L.) utilizados fueron las variedades Medjool y Deglet Noor.

Obtención de la harina de semilla de dátil

Las semillas extraídas de los frutos fueron expuestas al sol por un periodo de 24 h. Una vez secas, se molieron y tamizaron hasta obtener un tamaño de partícula de 1 mm, y posteriormente se almacenaron hasta su uso.

Análisis proximal

Las muestras secas obtenidas en el análisis de composición botánica se molerán en un molino de la marca Willey usando un cedazo de 1mm. Posteriormente, las muestras de harina de semilla de dátil serán secadas durante 24 h a 105 °C en una estufa de aire forzado para determinar la MS y después se incinerarán por 6 h a 600 °C en un horno de mufla para determinar la MO. La proteína cruda se calculará como 6.25 × % N por el método Kjeldahl. La cuantificación de cenizas y PC se realizará de acuerdo con los procedimientos de AOAC (2000). La fibra insoluble en detergente ácido (FDA), insoluble en detergente neutro (FDN), celulosa y lignina insoluble en detergente ácido (LDA) se analizarán por el procedimiento reportado por Van Soest et al. (1991) para emplear el ANKOM-Fiber Analyzer (Ankom-Technology, Fairport, New York).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico mediante ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0,05$) en el software Infostat.

Resultados y discusión

El análisis proximal de la harina de semilla de dátil se presenta en el Cuadro 1 y la Figura 1. De acuerdo con el análisis estadístico, permitió identificar diferencias significativas en los parámetros de la harina de semilla de dátil entre las variedades Deglet Nour y Medjool. Los resultados mostraron que el contenido de materia seca, cenizas, grasas y FDN presenta valores significativos. Los niveles de materia seca en Deglet Nour fueron mayores (99,66 %) en comparación con Medjool (94,92 %). En cenizas, Medjool presentó un valor mayor (1,87 %) respecto a Deglet Nour (1,37 %); en los niveles de grasa, destacó Deglet Nour (7,61 %), presentando un mayor

contenido que Medjool (7,11 %). El contenido de FDN destacó la variedad Medjool (65,66 %) ante Deglet Nour (62,24 %) (Figura 1). Por otro lado, en los parámetros de proteína cruda, FDA y lignina, no se detectaron diferencias significativas entre las dos variedades, lo que indica que ambas comparten un perfil proximal similar.

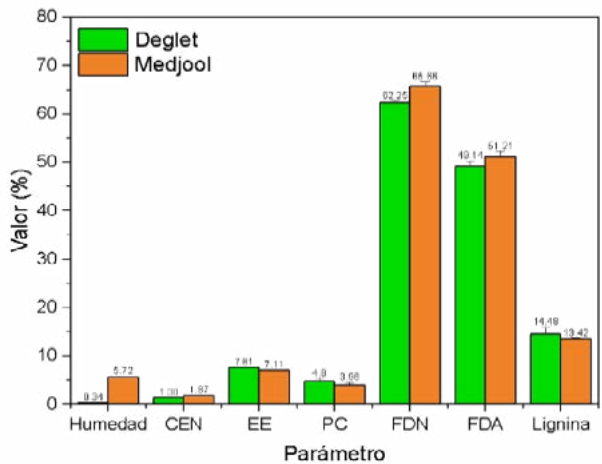
Cuadro 1. *Composición aproximada de harina de semilla de dátil.*

Parámetros	**Deglet Nour**	**Medjool**
Materia seca (%)	99,66 A	94,92 B
Ceniza (%)	1,37 B	1,87 A
Proteína cruda (%)	4,79 A	3,91 A
Grasas (%)	7,61 A	7,11 B
FDA (%)	49,13 A	51,20 A
FDN (%)	62,24 B	65,66 A
Lignina (%)	14,48 A	13,41 A

Leyenda: AB=Niveles significativos AA=Niveles no significativos

Esto sugiere que ambas variedades presentan un perfil nutricional comparable. De manera general, el contenido de proteína, grasa, fibra, cenizas y materia seca está dentro de los rangos de valores según los reportados por diversos estudios (Al-Mawali et al., 2025; Al-Farsi et al., 2007).

Figura 1. *Composición aproximada de la harina de semilla de dátil.*



Conclusiones

Este estudio demostró que existen diferencias significativas entre las variedades Deglet Nour y Medjool en algunos parámetros de composición. Los resultados resaltan el valor de la harina de semilla de dátil como una fuente importante de nutrientes, respaldada además por estudios previos que confirman la consistencia de los datos, así como su aplicabilidad en el ámbito alimentario y agroindustrial. Finalmente, ambas variedades, tanto Deglet Nour como Medjool, pueden considerarse alternativas viables y con potencial en la industria alimentaria debido a su perfil nutricional, siendo utilizadas en la formulación de productos con alto valor agregado.

Referencias

AlFaris, N. A., AlTamimi, J. Z., AlGhamdi, F. A., Albaridi, N. A., Alzaheb, R. A., Aljabryn, D. H., y AlMousa, L. A. (2021). *Total phenolic content in ripe date fruits (Phoenix dactylifera L.): A systematic review y meta-analysis.* Saudi Journal of Biological Sciences, 28(6), 3566-3577.

Ashraf, Z., y Hamidi-Esfahani, Z. (2011). *Fecha y procesamiento de fechas: una revisión.* Food Reviews International , 27 (2), 101-133.

Guido, F., Behija, S. E., Manel, I., Nesrine, Z., Ali, F., Mohamed, H. y Lotfi, A. (2011). *Chemical y aroma volatile compositions of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits at three maturation stages.* Food Chemistry, 127(4), 1744-1754.

Chandrasekaran, M., y Bahkali, A. H. (2013). *Valorization of date palm (Phoenix dactylifera) fruit processing by-products y wastes using bioprocess technology–Review.* Saudi journal of biological sciences, 20(2), 105-120.

Al Farsi, M. A., y Lee, C. Y. (2008) *Nutritional y functional properties of dates: a review Critical Reviews.* Food Sci Nutr, 48, 877–887.

Afiq, M. A., Rahman, R. A., Man, Y. C., Al-Kahtani, H. A., y Mansor, T. S. T. (2013). *Date seed y date seed oil.* International Food Research Journal, 20(5), 2035.

Bouaziz, M. A., W. B., Attia, H., Blecker, C., y Besbes, S. (2010). *Effect of the addition of defatted date seeds on wheat dough performance y bread quality.* Journal of texture studies, 41(4), 511-531.

AOAC (2000) *Official Methods of Analysis*. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., y Lewis, B. A. (1991). *Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, y Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition*. Journal of Dairy Science, 74(10), 3583–3597. https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78551-2

Al-Mawali, M., Al-Khalili, M., Al-Khusaibi, M., Myint, M. T. Z., Kyaw, H. H., Rahman, M. S., Muhammad, A. I., y Al-Habsi, N. (2025). P*hysicochemical y Structural Characteristics of Date Seed y Starch Composite Powder as Prepared by Heating at Different Temperatures*. Polymers, 17(14), 1993. https://doi.org/10.3390/polym17141993

Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M. y Al-Rawahy, F. (2007). *Características composicionales y funcionales de dátiles, jarabes y sus subproductos*. Química de los alimentos, 104 (3), 943-947.

Capítulo **92**

Beneficios del orujo de uva en la industria alimentaria

Zamudio Moreno José Eduardo[1]
Tzintzun Camacho Olivia[2]
Vaconcelos Ulloa Javier[1]
Olvera Sandoval Carlos[1]
Méndez Trujillo Vianey[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Medicina y Nutrición. Dr Humberto Torres, centro cívico, Mexicali Baja California. * Jose.zamudio25@gmail.com.
[2] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Nuevo León 21705, Mexicali Baja California.

Resumen

El orujo de uva es un subproducto compuesto principalmente por piel de uva, semillas y pulpa. Este subproducto se obtiene de las plantas vitivinícolas tras el prensado de las uvas para la elaboración de vino. En los últimos años, la industria alimentaria ha puesto su atención en este subproducto debido a las propiedades antioxidantes que ejerce en los alimentos, favoreciendo su preservación, evitando el uso de conservadores artificiales y los riesgos a la salud que estos representan. Se analizan los compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante del orujo de uva mediante las técnicas de Folin-Ciocalteu y DPPH, respectivamente. Los resultados mostraron una inhibición del radical libre DPPH del 84 %, lo que confirma un elevado potencial antioxidante con un contenido de polifenoles de 328.31 mg EAG/g. Estos hallazgos respaldan el uso del orujo de uva como ingrediente funcional en la formulación de alimentos, suplementos, nutracéuticos, ofreciendo una alternativa viable para el manejo responsable de subproductos agroindustriales.

Introducción

El orujo de uva es el residuo sólido generado tras el prensado de las uvas durante la elaboración de vino, constituyendo aproximadamente el 20-30 % del peso total de la uva procesada (Ayala et al., 2025). En Baja California, la industria vitivinícola genera aproximadamente 33,250 kg de orujo de uva de manera anual. Este residuo, compuesto principalmente por pieles, semillas y restos de pulpa del fruto, ha sido tradicionalmente utilizado en aplicaciones como la destilación de alcohol, en alimento para animales o como fertilizante. Sin embargo, estas prácticas no aprovechan todo el potencial de este subproducto. En la actualidad, el orujo de uva ha captado gran interés en la industria alimentaria debido a su riqueza en compuestos bioactivos, como los polifenoles, fibra dietética y otros nutrientes con importantes beneficios

para la salud; además de diversas aplicaciones tecnológicas, como su efecto antioxidante en alimentos (García et al., 2017).

La industria alimentaria ha utilizado tradicionalmente antioxidantes sintéticos como el butilhidroxianisol (BHA), el butilhidroxitolueno (BHT) y el palmitato de ascorbilo para mitigar la oxidación de los alimentos. Sin embargo, el uso de estos antioxidantes sintéticos se ha relacionado con enfermedades con diversas patologías, incluyendo diversos tipos de cáncer (Liu et al., 2020). Por ello, el orujo de uva ha tomado gran interés en la industria alimentaria, esto aunado a su alto potencial como fuente natural de antioxidantes, con el objetivo de aumentar la preservación de alimentos mitigando los efectos secundarios relacionados con el consumo de antioxidantes artificiales, como reacciones alérgicas o inflamación (Xu et al., 2021) (Aldabayan, 2025). Por lo anterior, nuestro objetivo es analizar los compuestos fenólicos y su actividad antioxidante presentes en el orujo de uva de las vinícolas locales en Baja California para explorar su potencial para aplicación de sustitutos naturales de antioxidantes y brindar una revalorización al subproducto de la región (García et al., 2017).

Métodos y materiales

El orujo de uva de la familia moscatel de la variedad *Vitis vinífera* se obtuvo de plantas vitivinícolas en el Valle de Guadalupe, Baja California.

Obtención del extracto

La muestra seca se sometió a una extracción con solución hidroalcohólica de metanol al 80 % con incubación de 24 horas en la oscuridad; posteriormente, la muestra se centrifugó y se obtuvo el extracto.

Determinación de antioxidantes

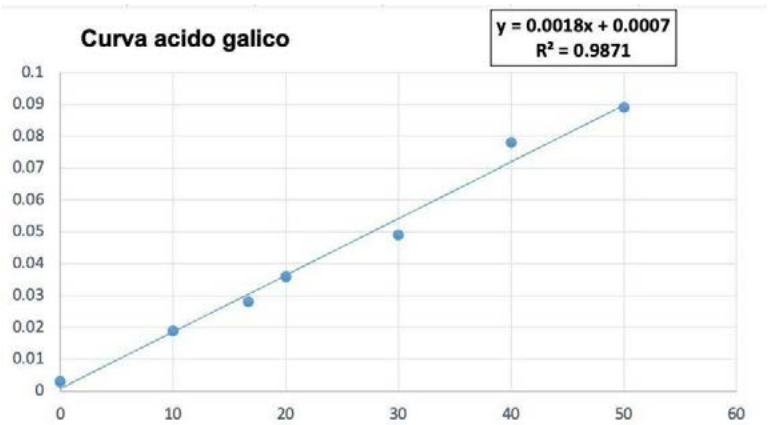
Una vez que se obtuvo el extracto, se mezcló con el reactivo de DPPH (Untea et al., 2022). La capacidad antioxidante se determinó por espectrofotometría a 517 nm, en un espectrofotómetro Jenway 7200R, lo que expresó los resultados como porcentaje de inhibición. El porcentaje de inhibición de DPPH se determinó mediante la siguiente ecuación::

- %Inhibición =(AC − AS) x100AC
- *AS: absorbancia de la muestra
- *AC: absorbancia del control

Determinación de polifenoles

El contenido de polifenoles se determinó de acuerdo con lo reportado por Untea et al. (2022) utilizando el extracto hidroalcohólico y se agregó 0.5 ml del reactivo del Folin-Ciocalteu. Se determinó a una longitud de onda de 732 nm con un espectrofotómetro Jenway 7200R, expresando los resultados como equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (EAG/g).

Figura 1. *Curva de calibración de ácido gálico.*



Resultados y discusión

Los resultados evidenciaron una concentración de polifenoles de 328.31 mg de EAG/g y una inhibición del radical libre DPPH del 84 %, 328.31 mg de EAG/g.

Antoniolli et al. (2015) realizaron estudios en la misma variedad de uva encontrando una concentración de 252.8 mg de EAG/g, menor a la que se obtuvo en laboratorio, lo que podría indicar que hay diversos factores medioambientales y de procesamiento que influyen significativamente en la funcionalidad biológica del orujo, permitiendo tener mayor capacidad

de eliminación de radicales libres (Antoniolli, A. 2015). Al comparar con los resultados de Tzintzun-Camacho et al. (2021) respecto a la capacidad antioxidante medida mediante inhibición del radical DPPH, se observó que los hidrolizados de piel de orujo tinto alcanzaron una inhibición del 96 %, mientras que las semillas de orujo blanco y rosado mostraron actividades menores, de 59 % y 33 %, respectivamente. Aunque en este estudio la capacidad antioxidante fue superior, vale destacar que el orujo fresco obtuvo una inhibición del 84 %, un valor similar al del orujo hidrolizado, lo cual abre la posibilidad de aprovechar la materia prima fresca con menor costo para la obtención de los componentes bioactivos, lo que logra estimaciones comparables mediante una técnica menos compleja.

Estos hallazgos son de gran interés para la industria alimentaria debido a la disminución de la vida útil de los alimentos por oxidación lipídica, lo que genera pérdidas económicas significativas durante el almacenamiento. Dicho fenómeno afecta de manera negativa tanto la calidad sensorial como el valor nutritivo de los productos, al provocar la degradación de nutrientes esenciales como vitaminas y ácidos grasos insaturados. Adicionalmente, algunos compuestos derivados de este proceso pueden presentar efectos tóxicos.

Además, estos resultados tienen implicaciones prácticas importantes no solo para la industria alimentaria, sino potencial para la industria cosmética y nutracéutica. Permiten contemplar al orujo fresco como una materia prima viable para la producción de antioxidantes naturales, lo que podría reducir costos, facilitar procesos y evitar problemas de absorción e inflamación..

Conclusiones

Estos hallazgos respaldan el uso del orujo de uva como ingrediente funcional en la formulación de alimentos, suplementos nutracéuticos y productos farmacéuticos. Además, su aprovechamiento promueve prácticas agrícolas sostenibles, generando valor agregado a la cadena productiva vitivinícola y ofreciendo una alternativa viable para el manejo responsable de subproductos agroindustriales.

Referencias

Aldabayan, Y. S. (2025). *Effect of artificial food additives on lung health*—An overview. Medicina, 61(4), 684. https://doi.org/10.3390/medicina61040684

Antoniolli, A., Fontana, A. R., Piccoli, P. y Bottini, R. (2015). *Characterization of polyphenols y evaluation of antioxidant capacity in grape pomace of the cv. Malbec*. Food chemistry, 178, 172–178. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.082

Ayala, J. R., Rojano, B. A., Coronado, M. A., Alzate-Arbeláez, A. F., Sagaste, C. A., Vélez, A. D., y Montes, D. G. (2025). *Valorization pathway for grape pruning y pomace waste from the wine industry:* Energy y non-energy applications. Molecules, 30, 2332. https://doi.org/10.3390/molecules30112332

García-Lomillo, J. y González-SanJosé, M. L. (2017). *Applications of wine pomace in the food industry: Approaches y functions*. Comprehensive Reviews in Food Science y Food Safety, 16(1), 3–22. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12238

Liu, R. y Mabury, S. A. (2020). *Synthetic phenolic antioxidants: A review of environmental occurrence, fate, human exposure, y toxicity*. Environmental Science y Technology, 54(19), 11706–11719. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05077

Lopes, J. d. C., Madureira, J., Margaça, F. M. A. y Cabo Verde, S. (2025). *Grape pomace: A review of its bioactive phenolic compounds, health benefits, y applications*. Molecules, 30, 362. https://doi.org/10.3390/molecules30020362

Spinei, M., y Oroian, M. (2021). *The potential of grape pomace varieties as a dietary source of pectic substances*. Foods, 10, 867. https://doi.org/10.3390/foods10040867

Untea, A. E., Varzaru, I., Vlaicu, P. A., Turcu, R. P., y Panaite, T. D. (2022). *Studies on antioxidant activities of grape pomace using in vitro, ex vivo, y in vivo models*. Journal of Food Measurement y Characterization. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01608-7

Wang, C., You, Y., Huang, W., y Zhan, J. (2024). *The high-value y sustainable utilization of grape pomace: A review. Food Chemistry*: X, 24. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101845

Xu, X., Liu, A., Hu, S., Ares, I., Martínez-Larrañaga, M.-R., Wang, X., Martínez, M., Anadón, A., y Martínez, M.-Á. (2021). *Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards y mechanism of action*. Food Chemistry, 353. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129488

Capítulo **93**

Efecto de acondicionador de suelo y aminoácidos sobre el crecimiento de plantas de *Cucumis sativus* L. en condiciones de estrés hídrico en invernadero

Rodríguez Castro Jesús Javier[1]
Romero Félix Celia Selene[1*]
Ruelas Islas Jesús Del Rosario[1]
Buelna Tarín Salomón[1]
Sifuentes Ibarra Ernesto[2]

[1] Universidad autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte,Calle 16 y Avenida Japaraqui, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México. C.P 81110. *celiaromero@uas.edu.mx.

[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera Internacional México Nogales, km 1609, Juan José Ríos. 81110 Guasave, Sinaloa, México.

Resumen

El uso de acondicionadores de suelo y bioestimulantes a base de aminoácidos influye positivamente en el crecimiento de las plantas al conservar la humedad en el suelo y en los tejidos vegetales. El objetivo es evaluar el efecto combinado de un acondicionador de suelo y un bioestimulante aminoacídico sobre el crecimiento en altura de plantas de pepino, en condiciones de riego y déficit hídrico en invernadero. El experimento se realizó en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Sinaloa. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$, evaluando los siguientes factores: condición hídrica (H: riego adecuado y déficit hídrico), aplicación de un bioestimulante a base de aminoácidos (AA: Amino80® y testigo sin aplicación) y aplicación de un acondicionador de suelo (AS: con aplicación y testigo sin aplicación). El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre H para altura de planta (AP) desde los 68 hasta los 159 días después de la siembra (DDS), excepto a los 82 DDS; asimismo, se observaron diferencias significativas en AP por efecto del AS a lo largo del ciclo del cultivo, la cual fue mayor en condiciones de riego (8 a 46 %) que en condiciones de déficit hídrico desde los 68 hasta los 159 DDS. En contraste, el bioestimulante no mostró efecto significativo sobre la variable evaluada.

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas de mayor demanda y consumo a nivel mundial, debido a su valor nutricional y contenido de minerales y vitaminas (Barraza-Álvarez, 2015; Montaño-Mata et al., 2018). Su producción puede verse afectada por factores abióticos como el estrés hídrico, temperaturas extremas y salinidad, los cuales afectan el crecimiento, desarrollo de las plantas y rendimiento del cultivo (Reyes-García et al.,

2021). Entre estos factores, el estrés hídrico es uno de los más limitantes, ya que interfiere en el establecimiento, crecimiento y manejo agronómico del cultivo. Para mitigar sus efectos, se han propuesto estrategias como el uso de bioestimulantes (entre ellos aminoácidos), los cuales regulan procesos fisiológicos y ayudan a mantener el equilibrio osmótico de las plantas en condiciones de déficit hídrico (Yakhin et al., 2017). Otra alternativa viable para conservar la humedad del suelo es con el uso de hidrogeles o acondicionadores de suelos, que muestran gran potencial para una agricultura sostenible, debido a su capacidad de absorción de agua, biodegradabilidad y liberación lenta, lo que mejora el rendimiento de los cultivos y aumenta la retención de agua en el suelo (Ortega-Torres et al., 2020; Liu et al., 2022). Estos polímeros son altamente eficaces para retener agua y sales, mantienen la zona radicular húmeda y pueden optimizar el uso de fertilizantes al retener nutrientes y liberarlos gradualmente, lo cual promueve un desarrollo vegetal más vigoroso (Neves et al., 2021). El objetivo es evaluar el efecto individual y combinado de un acondicionador de suelo y un bioestimulante a base de aminoácidos sobre el crecimiento en altura de plantas de pepino, bajo dos regímenes de riego en invernadero.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en un invernadero de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, ubicada en Juan José Ríos, Sinaloa. Se utilizó semilla del híbrido de pepino Poinsett; la siembra se realizó en charolas de unicel de 128 cavidades. A los 43 días después de la siembra (DDS), las plántulas se trasplantaron en bolsas bicolor 35 x 35 cm de 10 L de capacidad, llenadas con una mezcla de suelo de 60 % tierra y 40 % arena con una textura franco arenoso (6.4 % arcilla, 21.3 % limo y 72.4 % arena). Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$, evaluando los siguientes factores: condición hídrica (H: riego adecuado y déficit hídrico), aplicación de un bioestimulante a base de aminoácidos (AA: Amino80® y testigo sin aplicación) y aplicación de un acondicionador de suelo (AS: con aplicación y testigo sin aplicación) y cuatro bloques. El bioestimulante se aplicó vía foliar en seis ocasiones: a los 83, 97, 111, 125, 139 y 153 DDS. Mientras que el acondicionador se

incorporó al sustrato al momento del trasplante (1 g por bolsa a 8 cm de profundidad), cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones con una unidad experimental de tres bolsas.

El riego se inició a los 58 DDS. El tratamiento bajo riego recibió el 100 % de la demanda hídrica estimada mediante balance hídrico en una hoja de cálculo Excel®, adaptada para el invernadero y para el ciclo del cultivo de pepino. El tratamiento de déficit hídrico recibió solo el 30 % de dicha demanda. Los riegos se aplicaron tres veces por semana, incluyendo una aplicación semanal de solución nutritiva Steiner (1984) para evitar deficiencias nutrimentales en ambos regímenes hídricos. Se evaluó la altura de planta (AP y cm): desde la base hasta el ápice del tallo una vez por semana desde los 68 hasta los 159 DDS. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza con el programa estadístico Infostat® versión 2020. Se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre niveles de humedad para la altura de planta (AP) desde los 68 hasta los 159 DDS, excepto a los 82 DDS. Asimismo, el acondicionador de suelo tuvo un efecto significativo sobre la AP desde los 75 hasta los 159 DDS. En contraste, ni el bioestimulante ni las interacciones entre factores (humedad × acondicionador, humedad × bioestimulante y humedad × acondicionador × bioestimulante) mostraron efectos significativos ($p > 0.05$) (Cuadro 1).

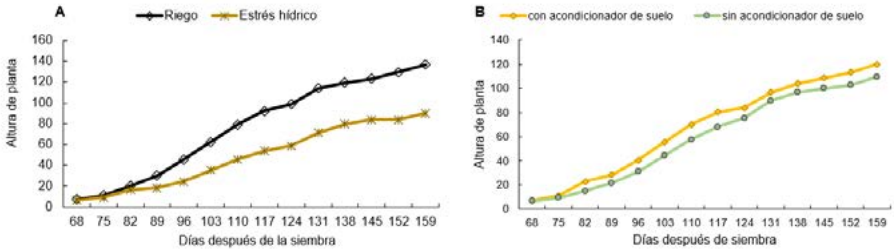
Cuadro 1. *Análisis de varianza para la altura de planta durante el ciclo de crecimiento del cultivo de pepino híbrido Poinsett.*

	Días después de la siembra						
FV	68	75	82	89	96	103	110
Bloques	0.83 ns	1.4ns	70.0ns	4.3 ns	18.3ns	16.79ns	14.68ns
H	3.3*	40*	140.0 ns	1374.6**	4546.1**	7413.6**	11367.01**
AS	1.4ns	23.8*	584.4*	440.2*	869.9*	1215.2*	1494.4*
AA	0.2ns	0.7ns	28.5ns	42.6ns	36.1ns	2.8 ns	1.2 ns
HxAS	0.6ns	1.5ns	200.4 ns	26.1ns	42.6ns	96.4ns	87.3 ns
HxAA	0.3 ns	1.4ns	180.5 ns	27.1ns	23.6ns	37.9ns	12.3 ns
HxASxAA	0.5ns	2.3 ns	217.4 ns	14.9ns	11.2ns	25.0ns	51.4 ns
ERROR	0.75	2.17	97.91	23.56	41.16	63.6	82.11
CV (%)	12.54	14.82	54.67	20.15	18.38	16.32	14.48
	Días después de la siembra						
FV	117	124	131	138	145	152	159
Bloques	30.78ns	21.79ns	7.2 ns	19.12ns	2.1 ns	272.4 ns	204.6 ns
H	14971.8**	16071.6**	18171.5**	15761.3**	15342.9**	21035.9**	22003.6**
AS	1378.7*	686.9*	452.1*	501.0*	680.1*	1083.3*	1057.2*
AA	6.8 ns	23.5ns	17.3ns	2.5 ns	7.6 ns	31.4ns	49.5ns
HxAS	100.6 ns	1.6 ns	3.6 ns	0.02ns	4.3 ns	141.2 ns	154.1 ns
HxAA	24.5ns	94.4ns	56.0ns	139.1ns	124.8 ns	1.6 ns	0.9 ns
HxASxAA	20.5 ns	19.2ns	10.7ns	16.3ns	7.5 ns	6.4 ns	9.4 ns
ERROR	61.73	67.66	88.4	79.5	103.02	212.72	233.08
CV (%)	10.78	10.45	10.15	8.97	9.82	13.66	13.45

H: humedad; AA: aminoácidos; AS: acondicionador de suelo; HxAS, HxAA, HxASxAA: interacciones; *, **Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, ns: no significativo.

La AP fue consistentemente mayor en condiciones de riego que en condiciones de déficit hídrico (Figura 1A), con incrementos que oscilaban entre el 8 % y el 46 % a lo largo del ciclo del cultivo. Este comportamiento coincide con lo reportado en otros cultivos bajo estrés hídrico (Lins et al., 2024, Salama et al., 2025).

Figura 1. *A: Altura de planta bajo condiciones de riego y estrés hídrico; B: acondicionador de suelo. *, **Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, ns: no significativo.*



Por su parte, la aplicación del acondicionador de suelo incrementó significativamente el valor de AP, en comparación con su ausencia, con mejoras que variaron entre el 14 % y 34 % desde los 75 hasta 159 DDS (Figura 1B). Estos resultados respaldan el trabajo de Pereira et al. (2019) y Pacholczak (2023), quienes indican que el acondicionador de suelo tiene efecto positivo en el crecimiento de la planta (altura), debido a la retención de humedad en el suelo.

Conclusiones

La altura de planta fue mayor en condiciones de riego que bajo estrés hídrico. La aplicación del acondicionador de suelo tuvo efecto positivo y significativo en el crecimiento vegetativo de plantas de pepino, independiente del régimen de humedad. Mientras que el bioestimulante a base de aminoácidos no mostró un efecto sobre el crecimiento de las plantas en las condiciones evaluadas.

Referencias

Barraza-Álvarez, F. V. (2015). *Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales.* Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 9(1), 60-71.

Lins, G. R., Oliveira, C. E. de, Fernandes, C. N. V., Silva, A. R. A. da, Silva, L. J. V., Oliveira, F. F. C. de, y Lima, R. E. M. (2024). *Hydrogel polymer in yellow melon plants cultivated under different irrigation depths*. Revis-

ta Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 28(9). https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n9e280282

Liu, Y., Wang, J., Chen, H. y Cheng, D. (2022). *Environmentally friendly hydrogel: A review of classification, preparation y application in agriculture.* The Science of the total environment,157303. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157303.

Montaño-Mata, N. J., Gil Marín, J. A., y Palmares, Y. (2018). *Rendimiento de pepino (Cucumis sativus L.) en función del tipo de bandeja y la edad de transplante de las plántulas.* Anales Científicos, 79(2), 377-385.

Neves, O. S. C., Avrella, E. D., Paim, L. P., Fior, C. S. (2021). *Retenção de água em substratos com hidrogel: influência das características do material e nível de adubação.* Ciência Florestal, 31, 1751- 1767. https://doi.org/10.5902/1980509843240

Ortega-Torres, A. E., Flores Tejeida, L. B., Guevara-González, R. G., Rico-García, E., y Soto-Zarazúa, G. M. (2020). *Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(6), 1447-1455.

Pacholczak, A., Nowakowska, K., y Monder, M. J. (2023). *Starch-Based Superabsorbent Enhances the Growth y Physiological Traits of Ornamental Shrubs.* Agriculture, 13(10), 1893

Pereira, B. J., Rodrigues, G. A., Santos, A. R., Anjos, G. L., y Costa, F. M. (2019). *Watermelon initial growth under different hydrogel concentrations y shading conditions.* Revista Caatinga, 32(4), 915–923. https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n407rc

Reyes-García, O., Vaquera-Huerta, H., Rendón-Sanchez, G. y Valdez-Lazalde, J.R. (2021). *Estimación del riesgo de ocurrencia de heladas aplicando teoría de valores extremos.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 12(6):328-362. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-08

Salama, A. N., Haggag, I. A. y Wanas, M. A. (2025). *Growth, productivity y quality of cucumber plants as influenced by drought stress y salicylic acid under protected condition.* Egyptian Journal of Soil Science, 65(1), 1–14. https://doi.org/10.21608/ejss.2024.305373.1817

Steiner A. A. (1984). *The universal nutrient solution. Proceeding sixth international congress on soilless culture.* Wageningen. The netherlands. 633-650.

Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A. y Brown, P. H. (2017). *Biostimulants in plant science: a global perspective.* Front. Plant Sci. 7, 671. https://doi.org/10.3389/fpls.

Capítulo **94**

Análisis comparativo de la composición nutrimental y antioxidante de huitlacoche y hongo ostra

Diaz Ruiz Georgina[1]
Méndez Trujillo Vianey[1*]
González Mendoza Daniel[2]
Reyes Pavón Diana[1]
Torres Maravilla Edgar[1]
Nieblas Almada Rosa Amparo[3]

[1] Facultad de Medicina y Nutrición de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. *vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx.
[2] Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.
[3] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Sonora, México.

Resumen

En el presente estudio se realizó la identificación de las propiedades nutrimentales y compuestos bioactivos del huitlacoche (Ustilago maydis) y el hongo ostra (Pleurotus ostreatus) mediante un análisis bromatológico y la determinación de su capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que el contenido de antioxidantes en el huitlacoche fue 67,63 % mayor en comparación con el hongo ostra. Los resultados bromatológicos del hongo ostra exhibieron un 3,03 % mayor contenido de humedad, 33,80 % más de fibra y 60,98 % más de cenizas; por otro lado, el huitlacoche exhibió un aumento del 34,95 % del contenido de proteína. Los resultados demuestran que tanto el huitlacoche como el hongo ostra poseen perfiles nutricionales distintivos y complementarios que podrían ser de aprovechamiento para el desarrollo de alimentos funcionales.

Introducción

Los hongos comestibles han surgido como recursos estratégicos para enfrentar desafíos globales como la seguridad alimentaria y la prevención de enfermedades crónicas. Entre ellos, el hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) y el huitlacoche (*Ustilago maydis*) (López-Martínez et al., 2022; Zhao et al., 2023). Mientras el primero es ampliamente cultivado a nivel global, el segundo, considerado un hongo parásito del maíz, es considerado un patrimonio gastronómico mesoamericano (Juárez-Montiel et al., 2011; López-Martínez et al., 2022).

El huitlacoche ("*cuitlacochin*" en náhuatl) ha sido consumido en México desde la época azteca; producto de la infección del maíz (*Zea mays*) por el hongo (*Ustilago maydis*), representa una exposición única del uso tradicional de hongos en Mesoamérica. Desde la época prehispánica, se ha valorado no como una enfermedad agrícola, sino como un manjar culinario; su composición química y actividad biológica varían según el tipo de maíz, las

condiciones agroecológicas y el estado de madurez, factores que también influyen en su biodisponibilidad (Aydoğdu y Gölükçü, 2017; López-Martínez et al., 2022). Por otro lado, Pleurotus ostreatus, perteneciente al filo Basidiomycota, siendo una de las especies más cultivadas a nivel mundial debido a su fácil adaptación, bajo costo de producción y capacidad para degradar materiales lignocelulósicos, contiene una variedad de compuestos bioactivos, entre los que se incluyen polisacáridos y polifenoles responsables de actividades antioxidantes, inmunomoduladoras, antiinflamatorias y antitumorales (Zhao et al., 2024). Por todo lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la composición nutrimental y antioxidante de los hongos Pleurotus ostreatus y Ustilago maydis.

Metodología

Se colectaron muestras de ambas especies en mercados locales de Mexicali, Baja California, México. Se procesaron en una solución de NaClO 3 % y fueron secadas en horno de convección a 60 °C durante 8 horas. Finalmente, se realizaron diversas determinaciones analíticas.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se midió mediante el método DPPH, mezclando 100 µL de muestra con 2900 µL de solución DPPH y dejando incubar durante 30 minutos en oscuridad. La absorbancia se registró a 517 nm para calcular el porcentaje de actividad captadora de radicales (Crespo et al., 2022).

Análisis bromatológico

El contenido de humedad se determinó mediante secado en estufa de ventilación forzada (NMX-F-083-1986), cuantificando la pérdida de peso tras la exposición a temperatura controlada. Para las proteínas, se aplicó el método micro Kjeldahl (AOAC 955.04), que incluyó digestión con H_2SO_4 y catalizadores ($CuSO_4$+ K_2SO_4), destilación del NH3 liberado en solución de H_3BO_3 al 4 % y titulación con HCl 0.1 N. La fibra cruda

se analizó mediante hidrólisis ácido-alcalina secuencial (H_2SO_4 1,25 % y NaOH 1,25 %; NOM-F-90), seguida de filtración, calcinación a 600°C y gravimetría. Finalmente, las cenizas se cuantificaron por calcinación en mufla a 550°C durante 12 horas (AOAC 923.03), determinando la masa residual post-combustión.

Análisis estadístico

Cada una de las determinaciones se realizó por triplicado. El resultado de las mismas se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y un posterior análisis *post hoc* utilizando la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95 %.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos indican que el hongo huitlacoche presentó altos valores de actividad antioxidante en comparación con el hongo ostra. Esto concuerda con estudios que han documentado capacidad antioxidante elevada en huitlacoche debida a su contenido fenólico y flavonoide (Aydoğdu y Gölükçü, 2017). Por su parte, el hongo ostra ha sido reconocido también por su actividad antioxidante vinculada a polisacáridos betaglucanos y compuestos fenólicos; sin embargo, en la comparación directa, el huitlacoche en base seca conserva mayor proporción de antioxidantes que el hongo ostra (Melanouri et al., 2025).

En los análisis bromatológicos para ambas especies, se presenta un perfil distinto para cada especie, con un contenido de humedad reportado para huitlacoche de entre 92 y 96 %. El huitlacoche presenta un menor contenido de humedad en comparación con el hongo ostra; sin embargo, el huitlacoche destaca por su mayor porcentaje de proteína, lo que supera al hongo ostra. Esto concuerda con estudios que reportan proteína en base seca de alrededor de 12 % (Aydoğdu y Gölükçü, 2017). En contraste, estudios de Pleurotus ostreatus informan rangos de proteína de entre 10 y 19 % según el sustrato utilizado (Elkanah et al., 2022). Por el contrario, los valores de fibra de hongo ostra reportan rangos de 8 a 12 % de acuerdo con Lindao-Pérez et al. (2022), donde este último es el que contiene una

cantidad significativamente mayor de fibra y cenizas que huitlacoche. En otros estudios de la misma especie se reportan valores de fibra cruda entre 42-52 % en base seca (Sultana et al., 2024). La ceniza elevada también es típica en esta especie, reflejando alta mineralización y presencia de elementos como K, Fe, Ca (Sahoo et al., 2020; Sharifi-Rad et al., 2020).

Cuadro 1. *Valor nutricional y comparativo de huitlacoche y hongo ostra secado a 60 °C por 8 horas.*

Especie	**Huitlacoche (Ustilago maydis)**	**Hongo ostra (Pleurotus ostreatus)**
Humedad (%)	90.23 ± 0.18b	93.05 ± 0.01ª
Proteína (%)	11.76 ± 0.53ª	7.65 ± 0.41b
Fibra (%)	15.24 ± 0.16b	23.02 ± 2.54a
Ceniza (%)	3.89 ± 0.28b	9.97 ± 0.17ª
Antioxidantes (%)	47.82 ± 0.01b	15.48 ± 0.01ª

Valores expresados como media ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que huitlacoche y hongo ostra poseen perfiles nutricionales distintivos y complementarios. Estas diferencias implican que cada especie podría ser aprovechada para fines nutricionales específicos, como enriquecer el contenido proteico de alimentos tradicionales, y como una fuente de fibra y minerales para el desarrollo de alimentos funcionales.

Referencias

Amador-Rodríguez, K. Y., Martínez-Bustos, F., Pérez-Cabrera, L. E., Posadas-Del-Río, F. A., Chávez-Vela, N. A., Sandoval-Cardoso, M. L. y Guevara-Lara, F. (2015). *Effect of huitlacoche (Ustilago maydis DC Corda) paste addition on functional, chemical y textural properties of tortilla chips*. Food Science y Technology, 35(3), 452-459. https://doi.org/10.1590/1678-457x.6697

Aydoğdu, M. y Gölükçü, M. (2017). *Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by Ustilago maydis.* Food Science y Technology, 37(4), 531–535. https://doi.org/10.1590/1678-457x.19416

Elkanah, F., Oke, M. y Adebayo, E. (2022). *Substrate composition effect on the nutritional quality of Pleurotus ostreatus (MK751847) fruiting body.* Heliyon, 8(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11841

Juárez-Montiel, M., De León, S. R., Chávez-Camarillo, G., Hernández-Rodríguez, C. y Villa-Tanaca, L. (2011). *Huitlacoche (corn smut), caused by the phytopathogenic fungus Ustilago maydis, as a functional food.* Revista Iberoamericana De Micología, 28(2), 69–73. https://doi.org/10.1016/j.riam.2011.01.001

Lindao-Pérez, J. D., Cedeño, A. J. R., Villamar-Torres, R. O., Santillán, A. D. Z., Mera-Pérez, H. A. y Jazayeri, S. M. (2022). *Production y bromatological analysis of the oyster mushroom (Pleurotus ostreatus (Jacq. ex Fr.) P.Kumm.) grown with cocoa, banana, coconut y African palm husk substrates.* Acta Agriculturae Slovenica, 118(1). https://doi.org/10.14720/aas.2022.118.1.1875

López-Martínez, L., Aguirre-Delgado, A., Saenz-Hidalgo, H., Buenrostro-Figueroa, J., García, H. S. y Baeza-Jiménez, R. (2022). *Bioactive ingredients of huitlacoche (Ustilago maydis), a potential food raw material.* Food Chemistry Molecular Sciences, 4, 100076. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100076

Melanouri, E., Diamantis, I., Dedousi, M., Dalaka, E., Antonopoulou, P., Papanikolaou, S., Politis, I., Theodorou, G. y Diamantopoulou, P. (2025). *Pleurotus ostreatus: Nutritional Enhancement y Antioxidant Activity Improvement Through Cultivation on Spent Mushroom Substrate y Roots of Leafy Vegetables.* Fermentation, 11(1), 20. https://doi.org/10.3390/fermentation11010020

Sultana, S., Shamsuzzaman, M., Miah, M. a. S., Kakon, A. J., Mafi, A. H., Sen, A., Siddiqui, M. N. y Bhattacharjya, D. K. (2024). *Assessment of proximate composition, mineral element profile y antioxidant properties of the edible oyster mushroom grown in Bangladesh.* Discover Food, 4(1). https://doi.org/10.1007/s44187-024-00216-2

Villagrán, Z., Martínez-Reyes, M., Gómez-Rodríguez, H., Ríos-García, U., Montalvo-González, E., Ortiz-Basurto, R. I., Anaya-Esparza, L. M. y Pérez-Moreno, J. (2023). *Huitlacoche (Ustilago maydis), an Iconic Mexican*

Fungal Resource: Biocultural Importance, Nutritional Content, Bioactive Compounds, y Potential Biotechnological Applications. Molecules, 28(11), 4415. https://doi.org/10.3390/molecules28114415

Zhao, Q., Liu, X., Cui, L. y Ma, C. (2023). *Extraction y bioactivities of the chemical composition from Pleurotus ostreatus*: a *review*. Journal of Future Foods, 4(2), 111–118. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.06.001

Capítulo **95**

Cáscara de cacahuate como fuente potencial de compuestos bioactivos y antioxidantes

Ymai Sasaki Yoshio I.[1*]
Méndez Trujillo Vianey[1]
González Mendoza Daniel[2]
Navarro Ibarra María J.[1]
Galindo Hernández Octavio[1]
Torres Valdés León F.[3]

[1] Facultad de Medicina y Nutrición de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. *yoshio.ymai@uabc.edu.mx.
[2] Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.
[3] Instituto Mexicano Del Seguro Social, Mexicali Baja California.

Resumen

El desarrollo de alimentos funcionales ha impulsado la búsqueda de nuevas fuentes de compuestos bioactivos con potencial antioxidante. La cáscara de cacahuate, tradicionalmente considerada un subproducto agroindustrial, contiene compuestos con capacidad de neutralizar radicales libres, como polifenoles, lo que la convierte en una materia prima de interés funcional o nutracéutico. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido fenólico y la actividad antioxidante en la harina de cáscara de cacahuate. El contenido de polifenoles totales se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, mientras que la capacidad antioxidante se evaluó a través del ensayo DPPH. Los resultados mostraron que la harina de cáscara de cacahuate presentó un contenido de polifenoles totales de 2.60 mg EAG/100 g, evidenciando la presencia de compuestos bioactivos; en cuanto a la actividad antioxidante, los valores obtenidos fueron de 83.8 %, lo que confirma su eficacia en la neutralización de radicales libres. En conclusión, la cáscara de cacahuate aporta 2.60 mg AEG/100 g de polifenoles y alcanza 83.8 % de inhibición DPPH en extractos acuosos y confirma su potencial como ingrediente funcional/nutracéutico.

Introducción

La cáscara de cacahuate, considerada tradicionalmente un subproducto agroindustrial, constituye una fuente prometedora para la obtención de compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, taninos y carotenoides, los cuales han demostrado poseer una importante capacidad antioxidante (Yang et al., 2025). Estos compuestos son capaces de neutralizar radicales libres, disminuyendo el daño oxidativo asociado con enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y trastornos gastrointestinales (Cardona et al., 2013). Además, el aprovechamiento de este residuo contribuye a la economía circular, lo que genera un valor agregado a la cadena productiva del cacahuate y reduce el impacto ambiental (Mojica et al., 2025).

El desarrollo de alimentos funcionales ha despertado gran interés debido a su capacidad para aportar beneficios adicionales a la salud más allá de la nutrición básica. Estos alimentos incorporan ingredientes bioactivos que contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas y a la mejora del bienestar general. Dentro de este enfoque, las fibras dietéticas y los compuestos antioxidantes desempeñan un papel fundamental en la modulación del tránsito intestinal, la reducción del estrés oxidativo y la protección frente a procesos inflamatorios (Li y Ma, 2024).

Por su contenido fenólico y su actividad antioxidante, la cáscara de cacahuate ha suscitado interés como base para formular ingredientes de posible uso funcional y nutracéutico. Diversos estudios han reportado que los extractos obtenidos mediante solventes polares (como etanol y metanol) presentan una alta capacidad de inhibición de radicales libres evaluada a través de métodos como el del DPPH; esto confirma su potencial como antioxidante natural (de Matos et al., 2024). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el potencial antioxidante de la harina de cáscara de cacahuate mediante una extracción acuosa.

Materiales y métodos

Obtención de harina de cáscara de cacahuate

La harina de cáscara de cacahuate fue elaborada a partir de los residuos del fruto del cacahuate (Arachis hypogaea). Esto mediante el siguiente proceso: la cáscara se limpia y desinfecta con hipoclorito de sodio a 200 ppm (2 %) por ocho minutos y se enjuaga con agua destilada. Posteriormente, la cáscara se tritura en pequeños trozos, se realiza un secado parcial y se lleva al horno en charola de acero inoxidable a 60 °C por 24 horas. Posteriormente, la muestra se lleva al desecador por 30 minutos y después se muele con una procesadora de alimentos hasta obtener una textura fina (Gerber et al., 2024).

Preparación del extracto para determinación de antioxidantes

Para la obtención del extracto, se preparó un tratamiento con agua destilada, esto de acuerdo a Zapata et al., 2013, donde se pesaron 5 gramos de la harina de cáscara de cacahuate, adicionando 25 ml de agua destilada. Posteriormente, se sometió a una centrifugación a 4000 rpm durante 10 minutos, hasta obtener el extracto.

Determinación de actividad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó mediante el ensayo de eliminación de radicales DPPH (0.1 mM). Se mezclaron 0.4 mL de extracto de harina de cáscara de cacahuate con 2.0 mL de DPPH y 1.6 mL de agua destilada. La mezcla se incubó en oscuridad a temperatura ambiente durante 30 min y se midió la absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro Mod. 7200 Visible 335-800 nm, JENWAY. El porcentaje de actividad antioxidante (%AA) se calculó comparando la absorbancia de la muestra con la del control (Untea et al., 2023). El porcentaje de inhibición de DPPH se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{DPPH} = \frac{(\text{Ac} - \text{As}) \text{ X } 100}{\text{Ac}}$$

As: absorbancia de la muestra, Ac: absorbancia del control.

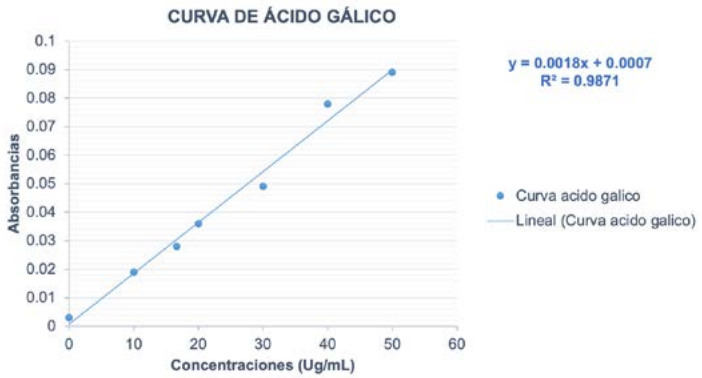
Preparación del extracto para determinación de polifenoles totales

Para la obtención del extracto, se preparó un tratamiento con metanol al 80 %, esto de acuerdo a Ordoñez-Gómez et al., 2018, en donde se pesaron 1.5 gramos de la harina de cáscara de cacahuate, adicionando 30 ml de metanol al 80 %. Posteriormente, la muestra se dejó incubar por 24 horas. Se sometió a una centrifugación a 15000 rpm durante 10 minutos, hasta obtener el extracto..

Determinación de polifenoles totales

El contenido total de polifenoles (TPC) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu; se mezclaron 0.5 mL de sobrenadante con 0.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 7 mL de agua destilada, se dejó por cinco minutos y se añadieron 2 mL de Na2CO3 al 20 % (p/v) y la mezcla se incubó a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 1 hora (Rizvi et al., 2023). La absorbancia se midió a 732 nm en un espectrofotómetro Mod. 7200 Visible 335-800 nm, JENWAY. Por otro lado, la cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con ácido gálico (Figura 1) y los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g).

Figura 1. *Curva de calibración con ácido gálico.*



Todos los análisis se realizaron por triplicado y el resultado de ambas mediciones se analizaron mediante estadística descriptiva expresando la Media ± Desviación Estándar.

Resultados y discusión

Determinación de actividad antioxidante

La evaluación de la actividad antioxidante de la cáscara de cacahuate mediante el método DPPH reveló diferencias notables. En donde se utilizó

agua destilada como medio de extracción, los valores de absorbancia de las muestras fueron de 0.073, 0.066 y 0.045, correspondientes a porcentajes de inhibición antioxidante de 80,74 %, 82,59 % y 88,13 %, respectivamente, con una absorbancia control de 0.379, y se obtuvo un promedio de 83,82 %, como se muestra en el Cuadro 1. Estos resultados demuestran una alta capacidad de neutralización de radicales libres, lo que sugiere que los compuestos bioactivos presentes en la cáscara presentan buena solubilidad y estabilidad en medios acuosos, siendo capaces de transferir electrones o hidrógenos al radical DPPH de manera efectiva.

Cuadro 1. *Determinación de antioxidante con agua destilada de la harina de cáscara de cacahuate.*

DPPH	Promedio (%)
	83.82 ± 3.8

En el estudio de Adhikari et al. (2019), las cáscaras de cacahuate de seis cultivares coreanos mostraron actividades DPPH entre 61,9 % y 87,6 %. En comparación, el promedio que obtuvimos fue de 83,82 %, obtenido con extracción acuosa; se ubica dentro y hacia el extremo superior de ese intervalo. Este hallazgo resulta particularmente relevante si se considera que el trabajo de referencia empleó metanol absoluto, un solvente generalmente más eficiente que el agua para la recuperación de fenoles. En conjunto, estos datos sugieren que, bajo nuestras condiciones experimentales, la fracción hidrosoluble de la cáscara concentra antioxidantes suficientemente activos como para igualar el desempeño con otros estudios de referencia observados.

Determinación de polifenoles totales

El análisis realizado mediante el método de Folin-Ciocalteu, empleando ácido gálico como estándar, mostró que los extractos de cáscara de cacahuate presentaron una concentración promedio de 2.60 mg EAG/100 g de muestra seca de polifenoles totales (260.4 mg EAG/g). Lo que evidencia una composición rica en compuestos fenólicos, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. *Contenido de polifenoles de la harina de cáscara de cacahuate.*

Folin-Ciocalteu	Promedio (mg EAG/100g)
	2.60 ± 1.1

El contenido de polifenoles totales obtenido en este trabajo para extractos de cáscara de cacahuate confirma la presencia de compuestos fenólicos, pero se ubica por debajo de los valores reportados por Çiftçi y Suna (2022), donde reportan que los fenoles se distribuyen de forma heterogénea. Sin embargo, ellos encontraron 27.6 ± 2.8 mg EAG/g en cáscara de cacahuate, medidos por Folin–Ciocalteu. Estos valores sirven como líneas base para comparar matrices y métodos, y colocan a nuestro resultado cercano e inferior a la cáscara de cacahuate reportada en esa fuente, sugiriendo margen de mejora metodológica y/o diferencias de materia prima..

Conclusiones

La presente investigación confirma que la cáscara de cacahuate constituye una fuente relevante de compuestos bioactivos fenólicos y alta capacidad antioxidante, que respalda su potencial para el aprovechamiento como ingrediente funcional y nutracéutico. La metodología empleada, basada en la obtención de harina de cáscara de cacahuate mediante extracción con solventes polares, permitió establecer un contenido promedio de 2.60 mg AEG/100 g de polifenoles totales, lo que evidencia una composición rica en compuestos con reconocida acción biológica. Asimismo, la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH demostró que los extractos preparados con agua destilada alcanzaron porcentajes de inhibición de 83,8 %.

Referencias

Adhikari, B., Dhungana, S. K., Ali, M. W., Adhikari, A., Kim, I.-D., y Shin, D.-H. (2019). *Antioxidant activities, polyphenol, flavonoid, y amino acid contents in peanut shell.* Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 18(4), 437–442. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.004

Cardona, F., Andrés-Lacueva, C., Tulipani, S., Tinahones, F. J., y Queipo-Ortuño, M. I. (2013). *Benefits of polyphenols on gut microbiota y implica-*

tions in human health. Journal of Nutritional Biochemistry, 24(8), 1415–1422. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.05.001

Çiftçi, S. y Suna, G. (2022). *Functional components of peanuts (Arachis hypogaea L.) y health benefits: A review*. Future Foods, 5. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100140

de Matos, A. C., Batista, D., Pinheiro, L. G. S. D., Chiocchetti, G. d. M. e., Berni, P. R. d. A., Macedo, G. A., y Macedo, J. A. (2024). *Bio-Guided extraction of a phenolic-rich extract from industrial peanut skin with antioxidant y hypotensive potential*. Foods, 13(21), 3410. https://doi.org/10.3390/foods13213410.

Gerber, S. y Roberts, S. B. (2024) *Peanut hulls, an underutilized nutritious culinary ingredient: valorizing food waste for global food, health, y farm economies - a narrative review*. Front Nutr. 11. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1453315

Li, M. y Ma, S. (2024). A review of healthy role of dietary fiber in modulating chronic diseases. Food Research International, 191, 114682. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114682

Mojica, J., Pérez, W. H. y Sánchez, E. M. (2025). *Residuos vegetales generados en plazas de mercado: alternativas para su valorización en la obtención de metabolitos de interés industrial*. Entre Ciencia e Ingeniería, 19(37), 09-19. https://doi.org/10.31908/19098367.2884

Ordoñez-Gómez, E. S., Reátegui-Díaz, D., y Villanueva-Tiburcio, J. E. (2018). *Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos*. Scientia Agropecuaria, 9(1), 113–121. http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.13.

Rizvi, N. B., Fatima, A., Busquets, R., Khan, M. R., Ashraf, S., Khan, M. S., y Oz, F. (2023). *Effect of the media in the Folin–Ciocalteu assay for the analysis of the total phenolic content of olive products*. Food Analytical Methods, 16, 1627–1634. https://doi.org/10.1007/s12161-023-02527-z

Untea, A. E., Varzaru, I., Vlaicu, P. A., Turcu, R. P., y Panaite, T. D. (2023). *Studies on antioxidant activities of grape pomace using in vitro, ex vivo, y in vivo models*. Journal of Food Measurement y Characterization, 17, 121–128. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01608-7

Yang, J., Wu, B., Kong, J., Liu, F., y Li, H. (2025). *Exploring the extraction, antioxidant activities y its stabilities of peanut skins crude proanthocyanidins extract*. Scientific Reports, 15, 26274. https://doi.org/10.1038/s41598-025-10934-x

Zapata, K., Cortes, F. B., y Rojano, B. A. (2013). *Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de guayaba agria (Psidium araca).* Información Tecnológica, 24(5), 103–112. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000500012.

Capítulo **96**

Identificación y control químico de hongos fitopatógenos que afectan al cultivo de la manzana (*Malus domestica*)

Nevárez González Mariela[1]
Chávez García Leidy Erisleida[1]
Mc Cauhgey Espinoza Diana Miriam[2]
Nayelli Ayatzol Vidal Martínez[3]
Chávez Tiznado Carlos Servando[1]
Ceballos Chávez Ángel Rosario[1*]

[1] Universidad Tecnológica de la Tarahumara- Departamento de Ciencias Ambientales y Agricultura. Carretera Guachochi- Yoquivo, Col Turuseachi, C.P 33180, Guachochi, Chihuahua, México. *angel.ceballos.chavez@gmail.com.
[2] Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, México.
[3] Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n Zona Universitaria C.P. 91090 Xalapa, Veracruz, México.

Resumen

Las manzanas son uno de los frutales más consumidos a nivel mundial, por lo que es uno de los cultivos más productivos por su alto valor nutritivo y terapéutico; sin embargo, las enfermedades y plagas causan enormes pérdidas económicas a la industria de la manzana cada año. Por ello, el objetivo es identificar los géneros de hongos fitopatógenos que causan enfermedades en el cultivo de manzana (*Malus domestica*) para caracterizarlos en relación patogénica y susceptibilidad al efecto antagónico químico en condiciones in vitro. Se inició con un muestreo de suelos sobre la rizosfera de árboles de manzana; enseguida se realizó la observación morfológica de cada uno de los géneros, se probó la patogenicidad para observar la posible presencia de enfermedades en flor, frutos, tallo y hojas. Además, se evaluó la persistencia, sensibilidad de fungicidas químicos Ridomil Gold (Mefenoxam y Mancozeb) y Trevanil 720 FW (Clorotabonil) para observar el grado de inhibición. Se logró identificar seis géneros de fitopatógenos, pertenecientes a *Rhizoctonia* spp., *Collectotrichum* spp., *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. y *Alternaria* spp. En cuanto a la evaluación de patogenicidad en los órganos de los árboles, se obtuvo que Alternaria spp. tiene mayor patogenicidad en la fruta y el tallo, *Rhizoctonia* spp. y Collectotrichum spp. en las hojas, *Fusarium* spp. en el tallo y Rhizopus spp. en el fruto. En la sensibilidad a fungicidas, se demostró que los géneros *Rhizoctonia* spp. y *Rhizopus* spp. son susceptibles a ambos químicos con porcentajes que varían de 47,94 a 89,41 %. Se recomienda probarlos en otras condiciones.

Introducción

Las manzanas se siembran en diferentes regiones. Es uno de los frutales más consumidos a nivel mundial, donde son los cultivos más productivos por su alto valor nutritivo y terapéutico. La manzana ocupa un lugar destacado en

su economía agrícola gracias a las condiciones agroclimáticas favorables y a su nicho ecológico, que ofrece una ventaja comparativa con otros cultivos. En México, la cifra va en aumento a medida que más personas trabajan en huertos de manzanas, ya que esta fruta genera más ingresos y requiere menos mano de obra (Khan et al., 2021; Khan et al., 2022b).

Sin embargo, las enfermedades y plagas causan enormes pérdidas económicas a la industria de la manzana cada año. Enfermedades como la marchitez ocasionada por *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp., descomposición blanda y acuosa en frutos por *Aspergillus* spp., *Rhizopus* spp., *Collectotrichum* spp. y mancha foliar por *Alternaria* spp. siguen siendo una gran amenaza para los productores de manzanas. La sostenibilidad de los productos agrícolas frente a las enfermedades es esencial para aumentar su rendimiento. Las plantas se enfrentan a estrés biótico, condiciones ambientales y climáticas adversas. Para afrontar estos desafíos, los agricultores utilizan diferentes técnicas, como pesticidas, fertilizantes, políticas de riego, etc. La fruticultura proporciona alimento a los seres humanos y el disfrute de diferentes sabores (Alsayed et al., 2021). En consecuencia, el objetivo es identificar los géneros de hongos fitopatógenos que causan enfermedades en el cultivo de manzana (*Malus domestica*) y caracterizarlos en relación patogénica y susceptibilidad al efecto antagónico químico en condiciones *in vitro* (Khan et al., 2021).

Materiales y métodos

Obtención de aislados: Se seleccionaron árboles de manzana del municipio de Guachochi, Chihuahua. Se extrajeron muestras de la raíz de 15 a 30 cm, se lavaron con jabón neutro y se dejaron secar por 12 h, para después desinfectar con NaClO al 1,5 % (Alsayed et al., 2021).

Identificación de fitopatógenos: Se observó cada hongo microscópicamente y se utilizó safranina diluida en 0,03 % para visualizar las estructuras de resistencia, coloración de colonia con base en sus características morfológicas (Sha et al., 2022).

Pruebas de patogenicidad: Se inocularon hojas, tallos, flores y fruta con los seis géneros de hongos identificados y se les agregó suspensiones de esporas de 15 mL a una concentración de 1x106 conidios. mL-1, median-

te la técnica de aspersión de acuerdo a Udhayakumar et al. (2019), usando atomizadores. Los órganos se mantuvieron en cámara húmeda a 25 °C ± 2, con HR 85 %, haciendo observaciones cada 12 horas durante 15 días.

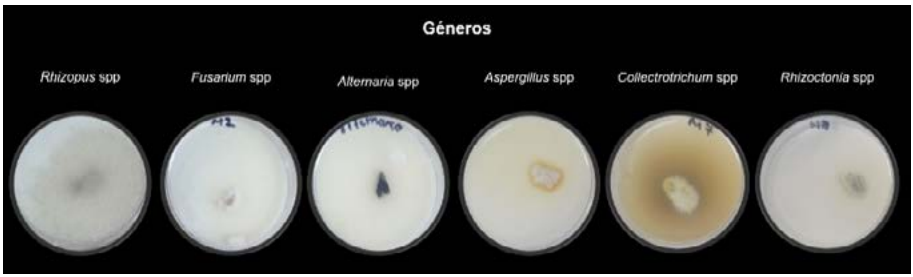
Prueba de sensibilidad a fungicidas: Se evaluó la efectividad durante cinco días de dos fungicidas comerciales: Ridomil Gold (mefenoxam y mancozeb) y Trevanil 720 FW (clorotabonil), para el control de los seis géneros de hongos. Las dosis comerciales de cada fungicida se incorporaron en medio PDA recién esterilizado a 45°C, que luego se vertió en cajas Petri esterilizadas de 8 cm de diámetro (Ramírez-Jiménez et al., 2025).

Análisis estadístico: El diseño experimental fue completamente al azar; se aplicaron cuatro tratamientos y el control, con tres repeticiones por tratamiento. Los datos fueron transformados para homogeneizar varianzas (Little y Hills, 1989) y analizados mediante ANOVA. Las medias se compararon con la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) usando InfoStat/L, y la susceptibilidad de los aislados se determinó mediante el porcentaje de inhibición del crecimiento fúngico.

Resultados y discusión

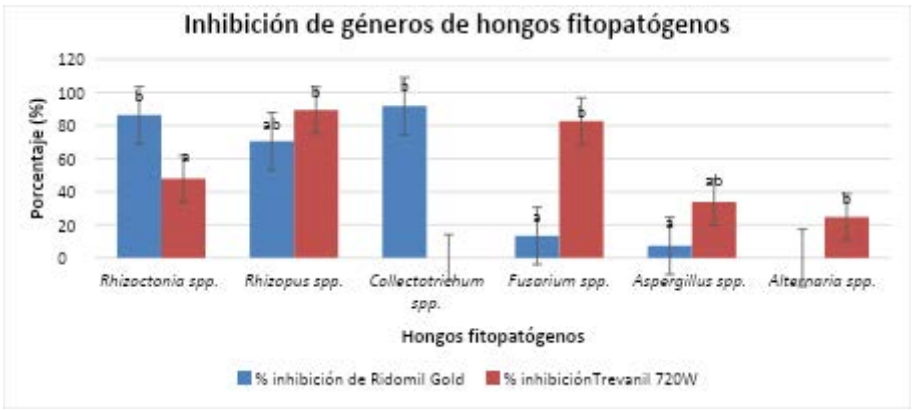
Se obtuvieron seis géneros de fitopatógenos pertenecientes a *Rhizoctonia* spp., *Collectotrichum* spp., *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. y *Alternaria* spp. (Figura 1). Los resultados obtenidos en las pruebas de patogenicidad respecto al órgano de la flor no presentaron ningún síntoma. En cuanto al fruto, se presentó descomposición blanda y acuosa afectada por *Rhizopus* spp. y *Alternaria* spp., mientras que en los tallos *Rhizoctonia* spp. causó marchitamiento con una coloración grisácea. En las hojas, *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp. y *Alternaria* spp. causaron marchitamiento, endurecimiento, manchas de color negras a marrón. Estos resultados difieren de lo expuesto por Ceballos-Chávez et al. (2023) en sus estudios de pruebas de patogenicidad en el fruto de manzana. Se consideraron los géneros *Fusarium* spp. y *Collectotrichum* spp., con una variación de 30 a 45 %, lo que se diferencia en este caso para los frutos de manzana, ya que fue susceptible por los géneros *Rhizopus* spp. y *Alternaria* spp., esto causa diversidad de síntomas.

Figura 1. *Fitopatógenos pertenecientes a Rhizoctonia spp., Collectotrichum spp., Rhizopus spp., Fusarium spp., Aspergillus spp. y Alternaria spp.*



Los resultados de los fungicidas demostraron que Ridomil Gold (Mefenoxam y Mancozeb) mostró una fuerte acción de inhibición contra los géneros *Rhizopus* spp., *Collectotrichum* spp. y *Rhizoctonia* spp. Para el caso de Trevanil 720 FW (Clorotabonil), se logró obtener un mayor grado de invención en *Fusarium* spp. y *Rhizopus* spp. (Figura 2).

Figura 2. *Tamaños de colonias de hongos fitopatógenos frente a fungicidas.*



Los resultados realizados en este estudio coinciden con los reportados por Tharana-Poonacha et al. (2023), quienes realizaron una evaluación de fungicidas en el género *Rhizoctonia* spp., en donde señalan que la eficacia de Ridomil Gold (Mefenoxam y Mancozeb) fue de 70,37 % y la de Trevanil 720 FW (Clorotabonil) fue de 69,63 %. Además, el porcentaje varía según la cepa y las condiciones en las que se lleve a cabo el experimento.

Conclusiones

Se identificaron seis géneros de hongos fitopatógenos pertenecientes a *Rhizoctonia* spp., *Collectotrichum* spp., *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. y *Alternaria* spp. Respecto a las pruebas de patogenicidad, los órganos más afectados fueron el fruto y las hojas. En cuanto a la evaluación de la sensibilidad respecto a fungicidas químicos, se observó que los géneros *Rhizopus* spp., *Collectotrichum* spp. y *Rhizoctonia* spp. mostraron menor crecimiento micelial con la aplicación de Ridomil Gold (Mefenoxam y Mancozeb), mientras que *Fusarium* spp. y *Rhizopus* spp. tuvieron menor crecimiento con el fungicida Trevanil 720 FW (Clorotabonil). Si bien estos dos productos no lograron impedir completamente el crecimiento de las colonias de los hongos, sí contribuyeron a reducir el tamaño de las mismas, mostrando su eficacia en la disminución de su desarrollo, pero no en una eliminación total.

Referencias

Aba, S. C., Eze, S. C., Ishieze, P. U., Omeje, T. E., y Ugwuoke, K. I. (2018). *Controlling Phytophthora blight of cucumber (Cucumis sativus) in a derived savannah using different spray intervals of a registered fungicide.* Plant Pathology y Quarantine, 8(2), 122–130. https://doi.org/10.5943/ppq/8/2/

Alsayed, A., Alsabei, A., y Arif, M. (2021). *Classification of apple tree leaves diseases using deep learning methods.* International Journal of Computer Science y Network Security, 21(7), 324-330. https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.7.37

Ceballos-Chávez, Á. R., Lizárraga-Sánchez, G. J., Leyva-Madrigal, K. Y., Caughey-Espinoza, D. M. M., Chávez-García, L. E., Escoboza, F. A. V., y López-Valenzuela, B. E. (2023). *Hospedantes en frutales de importancia económica asociados a patógenos foliares del duraznero (Prunus persica L.).* Bioagro, 35(3), 259-270. https://doi.org/10.51372/bioagro353.9

Khan, A. I., Quadri, S., y Banday, S. (2021). *Deep learning for apple diseases: classification y identification.* International Journal Of Computational Intelligence Studies, 10(1), 1. https://doi.org/10.1504/ijcistudies.2021.113831

Khan, A. I., Quadri, S., Banday, S., y Shah, J. L. (2022). *Deep diagnosis: A real-time apple leaf disease detection system based on deep learning*. Computers y Electronics In Agriculture, 198, 107093. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107093

Little, T. M. y Hills, F. J. 1989. M*étodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. Trillas 2a edición.125-14.

Ramírez-Jiménez, G., Alvarado-Gómez, O. G., La Cruz, M. T., Mayo-Hernández, M. Á., Huamán-Pilco, Á. F., y Díaz-Valderrama, J. R. (2025). *Characterization y fungicide sensitivity of fungi causing postharvest deterioration in Allium sativum, Nuevo León, Mexico*. Revista Mexicana de Fitopatología(En LíNea)/Revista Mexicana de FitopatologíA, 43(2). https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2406-2

Sha, S. S., Wang, Z., Yan, C. C., Hao, H. T., Wang, L., y Feng, H. Z. (2022). *Identification of Fungal Species Associated with Apple Canker in Tarim Basin, China*. Plant Disease, 107(5), 1284-1298. https://doi.org/10.1094/pdis-09-22-2032-sr

Tharana-Poonacha, T., Khan, F., Hegde, Y. R., Nithya, S. R., y Ismayil, M. M. S. (2023). *Efficacy of fungicides against Rhizoctonia solani (J. G. Kuhn) causing root rot of French bean*. Environment y Ecology, 41(3B), 1838–1843. https://doi.org/10.60151/envec/MRVM2315

Udhayakumar, R., S., Usharani y A. Muthukumar.(2019). *Pathogenicity variation, morphological y cultural characteristic of Colletotrichum gloeosporioides isolates*. Plant Archives 19(1), 425-430. http://www.plantarchives.org/PDF%2019-1/425-430 %20(4604).pdf.

Capítulo **97**

Uso de vermicompost de estiércol ovino en tomate (*Solanum lycopersicum*): características, ventajas y desventajas

García Campos Lucio[1]
Ceja Torres Luis Fernando[1*]
López Díaz Sigifredo[1]
Gutiérrez Hernández Germán Fernando[2]

[1] Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Justo Sierra # 28, C.P. 59510, Jiquilpan, Michoacán, México.* lfceja@ipn.mx.
[2] Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Ticoman. Ciudad de México. México. C.P. 07340.

Resumen

El objetivo es caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente vermicompost de estiércol de oveja, y evaluar este abono orgánico en tomate cv. Hermosa. El vermicompost se obtuvo mediante lombricultura y se caracterizó de acuerdo a la norma NMX-109-FF-SCFI-2007, incluyendo medios específicos y pruebas adicionales para determinar la presencia de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV). El vermicompost de ovino presenta características físicas, químicas y biológicas adecuadas para uso agrícola, por su alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio y hierro, así como la presencia de BPCV como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Azotobacter*. Aunque su pH es alcalino (8.4), hubo efectos significativos en la producción de tomate cv. Hermosa. Sin embargo, el estiércol de ovino tiene la desventaja de ser difícil de vermicompostear, debido a que sus heces forman agregados de consistencia firme, que dificultan la alimentación de la lombriz.

Introducción

En México se genera cada año gran cantidad de estiércoles pecuarios, poco considerados como subproductos de aprovechamiento (Olivares-Campos et al., 2012). Una alternativa es el vermicompostaje, aplicado para transformar y reducir el volumen de estiércol que se produce en el sector agropecuario (Lazcano et al., 2008). Este proceso ecotecnológico implica la biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, mediada por la acción combinada de lombrices y por microorganismos en condiciones aeróbicas y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado (Villegas-Cornelio y Laines, 2017). Además, constituye un elemento fundamental para la producción orgánica mediante un abono eficiente y rentable para el uso agrícola, sobre todo para pequeños productores (Mantuano-Morales y Zambrano-Gavilanes, 2023). Cabe señalar que las lombrices juegan un papel importante en la gestión de estos residuos, como me-

joradores de la fertilidad del suelo y fundamentalmente como promotores del crecimiento vegetal (Villegas-Cornelio y Laines, 2017). Por esta razón se consideró realizar una caracterización física, química y microbiológica de un vermicompost poco estudiado, como es el caso del estiércol de ovino, y evaluar su efecto sobre el desarrollo de tomate tipo saladette.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el laboratorio e invernadero del CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, ubicado en Jiquilpan de Juárez, Michoacán. La preparación del vermicompost se hizo en una cama de concreto de 1 m de ancho por 8 m de largo y 25 cm de profundidad. El estiércol de ovino se precomposteó durante 15 días, después se inoculó con 1 kilo de lombrices (*Eisenia foetida*) por metro cuadrado de la cama y el proceso duró cinco meses. Una vez obtenido, se caracterizó físico y químicamente de acuerdo con la norma NMX-FF-109-SCFI-2007; y se hizo un análisis microbiológico para determinar la presencia de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, considerando medios específicos para su aislamiento, y las pruebas de ácido indol acético y de catalasa (Gopinathan y Prakash et al., 2014). El experimento en invernadero inició con la siembra de semillas de tomate cv. Hermosa, en macetas de plástico de 4 L de capacidad y se utiliza como sustrato inerte arena de tezontle (at) en diversas proporciones (v/v), de acuerdo a tratamientos establecidos con vermicompost de ovino (vo) y solución Steiner (ss) como fertilizante inorgánico. Los tratamientos fueron: 1) 25:75 (vo:at), 2) 50:50 (vo:at), 3) 75:25 (vo:at), 4) 25:75 (vo:at) + ss 75 %, 5) 50:50 (vo:at) + ss 50 %, 6) 75:25 (vo:at) + ss 25 %, 7) 0:100 (vo:at) + ss 100 %, y 8) 0:100 (vo:at) como testigo absoluto. El diseño experimental fue completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones; con cuatro plantas como unidad experimental. Se registró la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de frutos, producción y materia seca. Estas variables se registraron a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (dde). Los datos de las variables se sometieron a un análisis de varianza y a una comparación de promedios mediante la prueba de Tukey con $p \leq 0.05$, en el software RStudio.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron que el pH, el contenido de humedad y la conductividad eléctrica se encuentran dentro de lo que indica la norma NMXFF-109-SCFI-2007 (5.5 a 8.5, entre 20 % y 40 %, y ≤ 4 dSm-1, respectivamente), indicativo de un bajo contenido en sales solubles y una adecuada humedad para el desarrollo de microorganismos benéficos (Singh et al., 2011). El contenido de macronutrientes y micronutrientes también se ajusta a la norma, donde sobresalen el nitrógeno total, fósforo, calcio y hierro (Tabla 1). El P (4,4 %) duplicó al obtenido en vermicompost de bovino (2,0 %) (Durán y Henríquez, 2007). Asimismo, el vermicompost de ovino contiene Rhizobium, Azotobacter, Pseudomonas y Bacillus, de acuerdo a los aislamientos en medios específicos y a las pruebas microbiológicas.

Tabla 1. *Caracterización físico química del vermicompost de estiércol de ovino.*

Característica / Contenido					
pH	8.4	Nitrógeno total	3,8 %	Sodio	2.1 %
CE	2.3 dSm-1	Fósforo	4,4 %	Hierro	2.5 ppm
MO	63,2 %	Potasio	0,5 %	Cobre	1.9 ppm
Humedad	30 %	Calcio	17,1 %	Zinc	0.1 ppm
		Magnesio	0,9 %	Manganeso	2.3 ppm

La altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (dde) fue significativa en tratamientos que incluyeron únicamente vermicompost de ovino en las proporciones 25, 50 y 75, o con solución Steiner (T4- 25:75 (vo:at)+ss 75 % y T5- 50:50 (vo:at)+ss 50 %). Aunque las plantas más altas (112.8 cm) se desarrollaron en el T4 (Tabla 2). Resultados semejantes fueron reportados por Arancon et al. (2019), quienes además indican que puede ser debido a hormonas de crecimiento y ácidos húmicos inmersos en el sustrato orgánico.

El diámetro del tallo en la primera fase de crecimiento del cultivo fue similar en todos los tratamientos, con valores entre 7 y 7.3 mm, excepto en el T3, donde se aplicó ¾ partes de vermicompost de ovino, registrándose en este caso diferencia estadística con un diámetro promedio de 8.8 mm (Tabla 2). Sin embargo, a los 90 dde, el T3 fue superado por el T1, pero ambos solo contienen vermicompost. Estos resultados son similares a los obtenidos con humus o lixiviado de vermicompost de bovino (Tejeda et al., 2008).

Tabla 2. *Promedios de altura y diámetro de tallo por planta, en tomate cv. Hermosa.*

Tratamientos	Altura de plantas (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	30 días	**60 días**	**90 días**	**30 días**	**60 días**	**90 días**
1. 25:75 (vo:at)	45.7 ab	105.0 bc	102.0 abc	7.4 b	11.5 a	14.5 a*
2. 50:50 (vo:at)	49.0 a	99.5 c	103.0 abc	7.1 b	9.8 b	11.5 bc
3. 75:25 (vo:at)	50.5 a	117.8 a	103.0 abc	8.8 a	11.5 a	12.8 b
4. 25:75 (vo:at)+ss 75 %	51.0 a	112.3 ab	112.8 a	7.1 b	11.8 a	13.0 ab
5. 50:50 (vo:at)+ss 50 %	45.5 ab	109.5 abc	108.8 ab	7.1 b	9.8 b	11.5 bc
6. 75:25 (vo:at)+ss 25 %	40.5 bc	101.5 bc	98.0 bc	7.1 b	9.8 b	10.8 c
7. 0:100 (vo:at)+ss 100 %	37.0 c	103.5 bc	94.3 c	7.0 b	10.5 ab	12.0 bc
8. 0:100 (vo:at)	37.3 c	67.75 d	73.5 d	7.0 b	7.3 c	8.8 d

*Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). vo= vermicompost de ovino, ss= solución Steiner, at=arena de tezontle.

Respecto al número de hojas, tanto a los 30 como a los 60 dde sobresalieron el T3, T4 y el T5 (tratamientos que incluyen solo vermicompost o adicionados con solución Steiner) con 20 hojas por planta en promedio, y diferencias estadísticas significativas respecto al T6, T7 y al testigo (Tabla 3). La respuesta del vermicompost ha sido la misma en trabajos similares (Chiquito-Contreras et al., 2018). A los 90 días hay una reducción en el número, debido a que las hojas maduras cayeron.

El T3, que incluye ¾ partes de vermicompost de ovino, y el T5, que además incluye solución Steiner, triplicaron el peso seco con respecto a las plantas testigo (21 g), con valores de 92 g y 89 g respectivamente, con igualdad estadística (Tabla 3). Resultados que concuerdan con otros, sobre biomasa seca (Kashem et al., 2015; Reyes et al., 2015).

En el número y la producción de frutos sobresalen estadísticamente el T1 y T3, que incluyen solo vermicompost, y el T4 y T5 con la adición de ss, los cuales produjeron entre 1 kg y 1.2 kg por planta (Tabla 3). Moreno et al. (2008) también obtuvieron mayor rendimiento de fruto de tomate al mezclar vermicompost:arena (12.5:87.5 y 50:50).

Tabla 3. *Promedio del número de hojas, materia seca, número de frutos y producción por planta, en tomate cv. Hermosa.*

Tratamientos	Número de hojas			Materia seca (g)	No. de frutos	Producción (kg)
	30 d	60 d	90 d			
1. 25:75 (vo:at)	11.8 a	17.5 bc	15.0 a	69.5 b	13.3 a	0.99 b*
2. 50:50 (vo:at)	10.3 b	16.0 c	13.5 ab	66.1 b	7.0 b	0.54 cd
3. 75:25 (vo:at)	12.5 a	19.0 ab	15.5 a	91.7 a	12.8 a	1.01 ab
4. 25:75 (vo:at)+ss 75 %	11.8 a	20.5 a	14.3 ab	70.4 b	13.8 a	1.06 ab
5. 50:50 (vo:at)+ss 50 %	11.8 a	19.8 ab	15.5 a	88.7 a	14.5 a	1.22 a
6. 75:25 (vo:at)+ss 25 %	11.5 ab	15.0 c	12.3 b	64.2 b	8.5 b	0.70 c
7. 0:100 (vo:at)+ss 100 %	8.3 c	12.3 d	12.3 b	63.1 b	5.8 b	0.46 d
8. 0:100 (vo:at)	8.3 c	10.5 d	7.3 c	21.1 c	1.8 c	0.10 e

Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). vo= vermicompost de ovino, ss= solución Steiner, at=arena de tezontle

Conclusiones

El vermicompost del estiércol de ovino tiene alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio y hierro. Además, bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Azotobacter* que promueven el crecimiento en plantas. Este vermicompost en proporción 75:25 (vo:at), o con solución Steiner (25:75 vo:at + ss 75 %) o (50:50 vo:at + ss 50 %), promovió el crecimiento, desarrollo y la producción de tomate. Sin embargo, el estiércol de ovino tiene la desventaja de ser difícil de vermicompostear.

Referencias

Arancon, N. Q., J. D. Owens, y C. Converse. (2019). *The effects of vermicompost tea on the growth y yield of lettuce y tomato in a non circulating hydroponics system.* Journal of Plant Nutrition, 42, 2447-2458. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655049

Chiquito-Contreras, R. G., Reyes-Pérez, J. J., Troyo-Diéguez, E., Rueda-Puente, E. O., Torres-Rodríguez, J. A. y Murillo-Amador, B. (2018). *Crecimiento de plántulas de tomate (Solanum lycopersicum L.) tratadas con humato de vermicompost*, (20), 4187-4197. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.989

Durán, L. y C. Henríquez. (2007). *Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos.* Agronomía Costarricense, 31(1), 41-51. http://www.mag.go.cr/rev

Gopinathan, R. y Prakash, M. (2014). *Isolation of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) from Vermicompost y effect on growth of Green Gram (Vigna radiata L.).* Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci, 3(7), 1072-1081. http://www.ijcmas.com/

Kashem, A., Hossain, A. S. y Islam, S. (2015). *Comparación del efecto del vermicompost y fertilizantes inorgánicos sobre el crecimiento vegetativo y la producción de frutos de tomate (Solanum lycopersicum L.).* Open Journal of Soil Science, 5(2), 53-58. http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2015.52006

Lazcano, C., Gómez-Brandon, M. y Jorge, D. (2008). *Comparison of the effectiveness of composting y vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure.* Chemosphere, 72(7), 1013-1019. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016

Mantuano-Morales, M. A. y Zambrano-Gavilanes, F. (2023). *Efecto de la aplicación de vermicompost en el comportamiento agronómico de diversos cultivos.* Biotempo, 20(2), 285-296. http://doi:10.31381/biotempo.v20i2.5742

Moreno, R. A., Gómez, F. L., Cano, R. P., Martínez, C. V., Reyes, C. J. L., Puente, M. J. L. y Rodríguez, D. N. (2008). *Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost:arena en invernadero.* Terra Latinoamericana, 26(2), 103-109. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313046002

Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L. y Ojeda-Barrios, D. (2012). L*ombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo.* Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 28(1), 27-37. https://doi.org/10.19136/era.a28n1.30

Reyes, P. J. J., Torres, R. J. A., Murillo, A. B., Herrera, H. M. F., Guridi, I. F., Luna, R. M. A., López, B. R. J. y Real, G. G. E. (2015). *Humatos de vermicompost y su efecto en el crecimiento de plántulas de tomate ((Solanum lycopersicum L.).* Biotecnia, 17(2), 9-12. https://doi.org/10.18633/bt.v17i2.181

Singh, P. R., Singh, P., Araujo, S. F. A., Ibrahim, H. M. y Sulaiman, O. (2011). *Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option.* Res. Conserv. Recy, 55(7), 719-729. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.005

Tejeda, M., González, J. L., Hernández, M. T. y García, C. (2008). *Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes.* Bioresource Technology 99(14), 6228-6232. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.031

Villegas-Cornelio, V. M. y Laines, C. J. R. (2017). *Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(2), 393-406. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59

Capítulo **98**

Efecto de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la población y diversidad fungica asociada a su rizosfera

Murillo Chaidez Ramon Alejandro[1*]
Romero Bastidas Mirella[1]
Nieto Garibay Alejandra[2]
Palacios Espinoza Alejandro[1]

[1] Departamento Académico de Agronomía, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). *rmurillo_16@alu.uabcs.mx.
[2] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).

Resumen

El cempasúchil es una planta ornamental ampliamente comercializada. Sus metabolitos sintetizados poseen acción antimicrobiana, lo que podría influir en la diversidad fúngica del suelo. Sin embargo, son escasos los estudios al respecto. Por ello, el objetivo del estudio es evaluar la población y diversidad fúngica asociada a la rizosfera del cultivo de cempasúchil y su efecto en las propiedades químicas del suelo. Mediante siembra directa fueron sembradas 75 plantas de cempasúchil en campo abierto. Cuatro muestreos de suelo fueron realizados durante 120 días; antes y durante el desarrollo de la planta. El método de muestreo fue sistemático a una profundidad de 30 cm. Las muestras fueron homogeneizadas, efectuando diluciones seriadas para el conteo, aislamiento y purificación de poblaciones fúngicas. La identificación se llevó a cabo mediante caracterización morfológica y comparación con claves taxonómicas. Las variables a evaluar fueron la población, diversidad e identificación de los hongos. Los resultados mostraron que cempasúchil aumentó la población fúngica inicial de 2333 UFC/gr de suelo a 7386 UFC/gr transcurridos 30 días. Sin embargo, esta población disminuyó a 5710 UFC/g de suelo (60 días después) para finalmente disminuir a 3333.33 UFC/g de suelo a los 90 días. También disminuyó la diversidad, de 13 aislados a seis. Los géneros identificados fueron *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. y *Rhizopus* spp. La información obtenida demostró que el cempasúchil no solo influye en la población fúngica del suelo, sino también en su diversidad.

Introducción

El cempasúchil (*Tagetes erecta*) es una especie de la familia Asteraceae. Se cultiva comúnmente como planta ornamental en muchas regiones del mundo y es famosa por sus propiedades medicinales y antibacterianas (Gomez et al., 2003). Ha sido reportado que el género *Tagetes* puede producir compuestos

de alelopatía con actividad antimicrobiana que tienen actividades biológicas contra patógenos de plantas (Barto et al., 2011; Weidenhamer et al., 2019). A pesar de los diferentes estudios realizados sobre la actividad antimicrobiana de *Tagetes* erecta, las investigaciones sobre el efecto en la población y diversidad fúngica del suelo son escasas. Por ello, el objetivo del presente capítulo es evaluar el efecto de cempasúchil (*Tagetes* erecta) sobre la población y diversidad fúngica asociada a su rizosfera.

Materiales y métodos

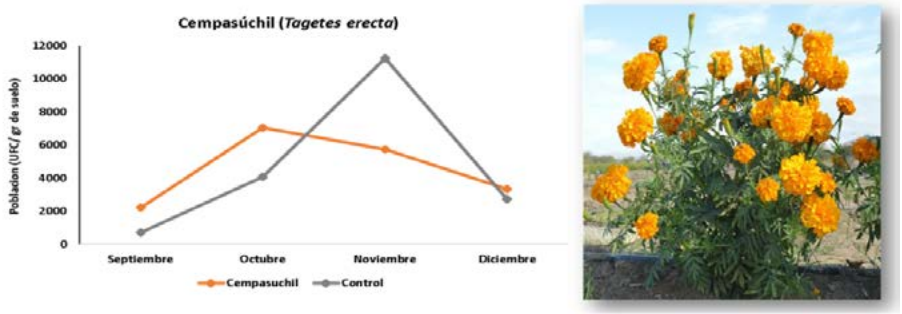
La investigación se llevó a cabo en el ciclo 2022 en el municipio de La Paz, Baja California Sur, México (24°7'0" N, 110°43'0" W y altitud de 0 a 27 msnm). El trabajo experimental se llevó a cabo a nivel de campo. El experimento se estableció en un área de 81 m² constituida por tres surcos de 15 m de largo x 80 cm de ancho. Las semillas fueron sembradas directamente en los surcos a una profundidad al doble de su tamaño (1-2 cm) con un marco de plantación de 30 cm. El diseño experimental fue en bloques completos al azar. Nueve muestras de suelo rizosférico fueron obtenidas al azar a 30 cm de profundidad, antes, durante y al final del experimento. El aislamiento de hongos para conteo de colonias fue mediante diluciones seriadas. A partir de aislados puros fue realizada la identificación morfológica fúngica y se compararon con claves taxonómicas. La diversidad fúngica se determinó a través de la frecuencia de ocurrencia de cada especie, calculada al dividir el número de colonias de una especie dada entre el número total de comunidades aisladas en cada muestra, expresada en porcentaje. Los datos se organizaron en Microsoft Excel 2019 para su procesamiento. Para identificar las diferencias significativas en la población fúngica a través del tiempo, fue usado un análisis de varianza de una vía y un rango de confianza de 0.05 con Tukey con el programa estadístico Prism.

Resultados y discusión

La población comenzó con 3323.33 UFC/g de suelo, la cual aumentó a 7386.66 UFC/g de suelo (30 días). Sin embargo, esta población disminuyó a 5710 UFC/g de suelo (60 días después) para nuevamente disminuir

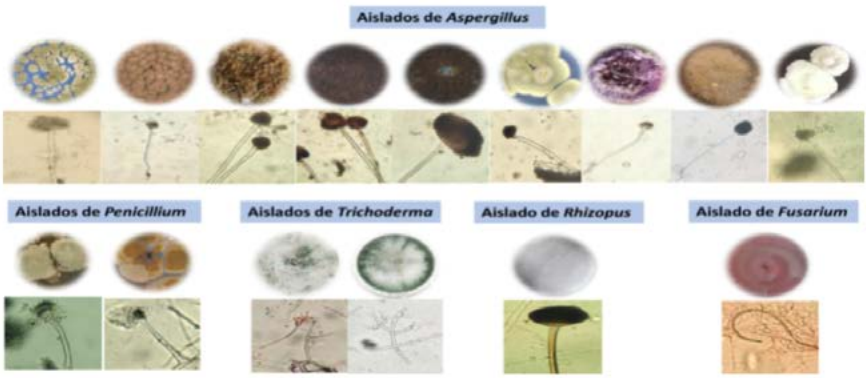
a 3333.33 UFC/g de suelo a los 90 días. Esta disminución podría estar directamente relacionada con los exudados generados a través del sistema radicular y que inhibieron la población fúngica del suelo. Tal como menciona Bhattacharyya (2017), los exudados radiculares del género Tagetes contienen sustancias químicas bioactivas tóxicas que tienen propiedades citotóxicas, nematicidas, insecticidas, antivirales y fungicidas.

Figura 1. *Comportamiento de la población fúngica del suelo a través de los meses de muestreo.*



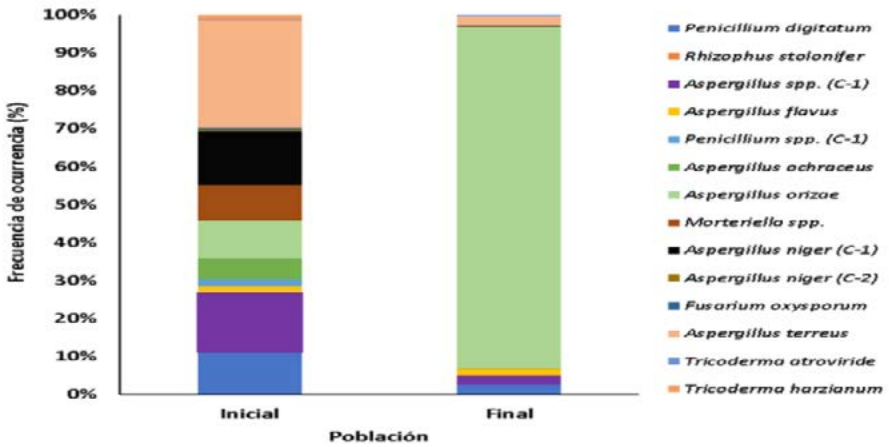
Para la identificación morfológica se registraron los géneros *Aspergillus, Penicillium, Trichoderma, Rhizopu*s y *Fusarium* (Figura 2). Donde *Aspergillus, Trichoderma* y *Penicillium* presentaron la mayor diversidad de especies. Esto concuerda con Flanagan (1981), quien indica que en suelos de zonas áridas predominan los géneros *Aspergillus, Penicillium*, *Trichoderma* y *Fusarium*.

Figura 2. *Identificación morfológica fúngica asociada al cultivo de cempasúchil.*



Para la diversidad de hongos, se presentó al inicio 13 aislados diferentes, la cual disminuyó a ocho aislados al final del experimento (Figura 3), donde predominaron los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Esto posiblemente se deba a los exudados radiculares liberados por esta especie. Zhalnina et al. (2018) explican que los exudados radiculares que contienen carbohidratos y ácidos orgánicos favorecen la presencia de microorganismos degradadores de compuestos orgánicos, como es el caso de Aspergillus y Penicillium.

Figura 3. *Diversidad de hongos.*



Conclusiones

El cempasúchil disminuyó la población fúngica a través del tiempo. Los hongos de mayor proporción fueron: *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp. y *Penicillium* spp. *Aspergillus* spp. (nueve aislados), *Trichoderma* spp. y *Penicillium* spp. (dos aislados) presentaron la mayor diversidad y la menor diversidad se registró en *Rhizopus* spp., *Mortierella* spp. y *Fusarium* spp. Se confirma que el cultivo de cempasúchil no solo influye en la población fúngica, sino también en su diversidad.

Referencias

Barto K. E., Hilker M., Mohney B. K., Weidenhame J. D., Rilling M. C. (2011). *The Fungal Fast Lane: Common Mycorrhizal Networks Extend Bioactive Zones of Allelochemicals in Soils*. Plos One, 6 (11), 1-7. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027195

Bhattacharyya M. (2017). *Use of marigold (Tagetes sp.) for the succesful control of nematodes in agricultural*. The pharma Innovation Journal, 6(11), 01-03.

Flanagan P. W. (1981). *Fungal taxa, physiological groups y biomass: a comparison between ecosystems*. In The fungal community. New York: Marcell Dekker.

Gómez R. O., Zavaleta-Mejía E., Gonzalez-Hernandez V., Livera-Munoz, M. y Cárdenas-Soriano, E. (2003). *Allelopathy y microclimatic modification of intercropping with marigold on tomato early blight disease development*. Field Crops Res, 83, 27–34. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00053-4

Weidenhamer J. D., Montgomery T. M., Cipollini D. F., Weston P. A. y Mohney B. K. (2019). P*landensity y rhizosphere chemistry: Does marigold root exudate composition respond to intra-and interspecific competition?*. J. Chem. Ecol, 45 (6), 525–533.

Yuebing S., Qixing Z., Yingming X., Lin W. y Xuefeng L. (2011). *Phytoremediation for co-contaminated soils of benzo y heavy metals using ornamental plant Tagetes patula*. Journal of Hazardous Materials, 186 (2–3), 2075-2082. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.116.

Zhalnina K., Louie K. B., Hao Z., Mansoori N. y Shi S. (2018). *Dynamic root exudate chemistry y microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly*. Nature Microbiology, 3, 470–480.

Capítulo **99**

Evaluación hidráulica de un sistema de goteo por cinta

León Alvarado Hanna Lucia[1*]
Camacho Cota Ángel Daniel[1]
Zamora Salgado Sergio[1]
Ruíz Espinoza Higinio[1]
Beltrán Morales F. Alfredo[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur. *hale_23@uabcs.alu.mx.

Resumen

El riego por goteo representa una alternativa viable para zonas áridas, debido a su mayor eficiencia en el uso del agua en comparación con otros métodos de irrigación. En la localidad de Ciudad Insurgentes, se realizó la evaluación de un sistema de riego por goteo en un cuadro de cultivo de lechuga. Para ello, se realizaron 16 aforos de un minuto en todo el cuadro. A partir de los datos obtenidos, se calculó el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) y la Uniformidad de Distribución (DU), con el objetivo de determinar el funcionamiento del sistema conforme a los valores del CU según Vargas (2008). Los resultados obtenidos del coeficiente de uniformidad se encontraron dentro de la clasificación buena por Christiansen con 82,81 % y aceptable por el método del cuarto inferior con 72,77 %; no obstante, la eficiencia general de un sistema de goteo por cinta varía sobre el 90 %. Si se decide mejorar esta categorización, se debe realizar una revisión para mejorar la eficiencia del sistema.

Introducción

El agua forma parte del núcleo del desarrollo sostenible y es esencial para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y sobre todo para la supervivencia de los seres humanos (Naciones Unidas, s. f.).

El agua, además, es un insumo esencial de la productividad agrícola; el crecimiento óptimo de distintos cultivos obedece a distintos requisitos en materia de agua. La escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola, lo cual, a su vez, supone menor disponibilidad de alimentos y pone en peligro la seguridad alimentaria y la nutrición (FAO, 2023). Debido a este tipo de problemáticas, se adoptan prácticas para mejorar la eficiencia del riego y evitar así el desperdicio de recursos hídricos; un ejemplo de ello es el riego presurizado, como lo es el riego por goteo. El

riego por goteo puede ser una herramienta estratégica para incrementar la productividad agrícola y evitar la pérdida excesiva de agua, sobre todo en zonas con escasez de agua (Moya, 2009). Sin embargo, para garantizar su eficiencia, es necesario realizar una evaluación hidráulica que permita verificar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación. Martínez (1991) dice que este dato es importante en la evaluación, ya que indica la buena o mala aplicación del riego. Una adecuada supervisión y evaluación hidráulica asegura no solo el uso eficiente del agua, sino también la prolongación de la vida útil del sistema y la reducción de costos. La evaluación de una instalación de riego localizado es un procedimiento por el que se puede comprobar su correcto funcionamiento de forma que se pueda cumplir el objetivo primordial del riego, satisfacer las necesidades de agua del cultivo. También permitirá valorar si los materiales, características de diseño, mantenimiento y manejo son adecuados, así como comprobar si todo el cultivo recibe la misma cantidad de agua o, en su caso, determinar las diferencias. La evaluación se concreta, entre otros puntos, en determinar la uniformidad en la distribución del agua de riego, detectar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear soluciones sencillas y económicas para resolverlos y analizar los criterios seguidos por el usuario para decidir la lámina de agua a aplicar.

Para cuantificar la uniformidad de riego se utilizan modelos como el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), que nos indica qué tan uniforme se está comportando el caudal de los emisores con respecto a una media poblacional del caudal, y el concepto de Uniformidad de Distribución (UD) denominado cuarto inferior, representados en el Cuadro 1. El CUC da una idea del diseño y mantenimiento general, mientras que el UD alerta sobre posibles zonas de déficit que podrían afectar el rendimiento del cultivo. En el Cuadro 2, se pueden apreciar los valores de referencia para CU por Christiansen y por el método del cuarto inferior.

Cuadro 1. *Fórmulas del CU de Christiansen y de UD por el método del cuarto inferior.*

Coeficiente de uniformidad de Christiansen;	**Uniformidad de Distribución (UD) por el Método de cuarto inferior.**
Donde: CU = Coeficiente de uniformidad en porcentaje. Xi = datos individuales de los gastos muestreados. X= promedio de los caudales obtenidos n= Número de sitios aforados [X-Xi]= valor absoluto de la diferencia entre X y Xi	UD=Q25 %Q medio*100 Donde; UD es la uniformidad de distribución del sistema de riego en porcentaje. $Q_{25\,\%}$ es la media del gasto obtenido en la cuarta parte de los emisores que aplican menos agua. Q_{medio}; la media del volumen recogido en todos los sitios evaluados (16 sitios de aforo)

Cuadro 2. *Valores de referencia para Coeficientes de Uniformidad (Vargas L. 2008).*

Clasificación	**Modelo**	
	Christiansen	**Cuarto inferior**
Excelente	90–100 %	> 85 %
Buena	80–90 %	75–85 %
Aceptable	70–80 %	65–75 %
Deficiente	< 70 %	< 65 %

Materiales y métodos

La evaluación del sistema de riego por goteo se realizó en Ciudad Insurgentes, Baja California Sur; una zona árida caracterizada por limitados recursos hídricos y temperaturas elevadas. Para el aforo se utilizó una canaleta de 1.10 metros de longitud, considerando que el caudal de las cintas de riego se expresa comúnmente en litros por hora por metro lineal (LPH/m) o en litros por hora por gotero (LPH). Esta longitud permite obtener una muestra representativa del flujo emitido por la cinta en condiciones reales de operación. El número de orificios (o goteros) por metro en una cinta de riego depende del modelo específico y del espaciamiento entre emisores, el cual puede variar típicamente entre 10 cm, 20 cm, 30 cm o hasta 40 cm entre cada gotero. La cinta de riego evaluada fue T-tape de

16 mm y con un espaciamiento de 12 pulgadas; el sistema de filtrado estaba compuesto de dos filtros de malla y la parcela contaba con un sistema de bombeo de 30 litros por minuto. Para la evaluación se seleccionaron 16 sitios de muestreo, distribuidos uniformemente: cuatro líneas de riego y cuatro sitios entre líneas: la primera línea, la última y dos líneas intermedias; el mismo procedimiento en las líneas. Una vez definidos los puntos de aforo, se procedió a la instalación de canaletas, colocándolas, con la ayuda de unas horquetas, con inclinación favorable a la dirección del flujo del riego. Posteriormente, se colocó la cinta de riego sobre las canaletas, permitiendo un tiempo prudente para que la presión se estabilizara y se alcanzara una distribución uniforme. El tiempo de aforo fue de 1 minuto; transcurrido dicho intervalo, se procedió a medir el volumen descargado utilizando una probeta graduada.

Resultados y discusión

En el sistema evaluado se contaron 77 líneas con una longitud de 102 m. Los sitios seleccionados de manera equidistante correspondieron a las líneas 1, 25, 51 y 77, y las canaletas se colocaron a 1 m, 34 m, 68 m y 102 m (Figura 1). Los datos obtenidos, así como su transformación para el cálculo correspondiente, se muestran en el Cuadro 3.

Figura 1. *Croquis de los sitios seleccionados, cultivo, instalación de canaleta y obtención del caudal.*

Cuadro 3. *Datos obtenidos y transformación para los cálculos*

No. Surco	Distancia (m)	Gasto (Lpm)	Gasto (Lph)	$[X-\overline{X}_i]$
1	1	0.08	4.92	1.56
	34	0.06	3.84	0.48
	68	0.05	2.88	0.48
	102	0.07	4.20	0.84
25	1	0.06	3.78	0.42
	34	0.06	3.72	0.36
	68	0.06	3.54	0.18
	102	0.05	3.24	0.12
51	1	0.05	2.82	0.54
	34	0.07	4.02	0.66
	68	0.04	2.40	0.96
	102	0.06	3.36	0.00
77	1	0.06	3.48	0.12
	34	0.04	2.28	1.08
	68	0.04	2.28	1.08
	102	0.05	3.00	0.36
			Promedio:3.36	Suma: 9.24

Coeficiente de uniformidad de Christiansen

$$CU = \left[1 - \frac{\left(\sum | Xi - \overline{X} |\right)}{(\overline{X})(n)}\right] * 100$$

Método de cuarto inferior

Conclusiones

Los valores obtenidos de 82,081 % y 72,77 % por los métodos de Christiansen y del cuarto inferior, respectivamente, se ubican en el rango de buenos. Sin embargo, la eficiencia de un sistema de riego por goteo debe

tener un valor al menos de 90 %, para ser considerado como excelente. Por ello, hay que realizar una revisión del sistema para identificación de posibles fallas, tales como obstrucciones por taponamientos o fugas en la cinta de riego.

Referencias

FAO. (2023). *La escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola, lo cual, a su vez, se traduce en una menor disponibilidad de alimentos y pone en peligro la seguridad alimentaria y la nutrición*. https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture-production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es

Moya Talens, J. A. (2009). *Riego localizado y fertirrigación* (4.ª ed.). Mundi-Prensa.

Naciones Unidas. (s.f.). *Agua*. https://www.un.org/es/global-issues/water

Martínez Elizondo, R. (1991). *Riego localizado: Diseño y evaluación*. 1ª ed. 158 .

Vargas Loyo, A. J. (2008). *Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano.* Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Honduras.

Capítulo **100**

Rendimiento y macollaje en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y trigo cristalino (*Triticum durum*) en el Valle del Yaqui, Sonora

Flores Bracamontes María Fernanda[1]
Cortés Jiménez uan Manuel[2]
Ortiz-Ávalos Alma Angélica[2]

[1] Instituto Tecnológico de Sonora. fernandafloresb@hotmail.com.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Resumen

El estudio se realizó en el Valle del Yaqui y tuvo como objetivo comparar el rendimiento de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y trigo cristalino (*Triticum durum*), cuantificando el aporte de la espiga principal y de los macollos y describiendo sus componentes de rendimiento. Se establecieron dos materiales en campo; en cosecha se muestrearon 3.1 metros lineales (1.24 m^2), se extrajeron plantas completas y se separaron espiga principal y macollos. Se contó el número de espigas con grano por metro cuadrado, se trilló cada espiga de manera manual, se pesó el grano y se contabilizaron los granos por espiga; además, se calculó el peso de mil granos a partir del peso y del número total de granos. El trigo harinero alcanzó 5.89 toneladas por hectárea y el trigo cristalino 3.46 toneladas por hectárea, por lo que el primero rindió 70,27 % más. En el harinero, los macollos aportaron más de la mitad del peso total de grano y se observó mayor número de espigas con grano por metro cuadrado y menor aborto de macollos, mientras que el cristalino presentó granos más pesados, pero menor contribución de macollos. En conclusión, nuestros resultados indican que el rendimiento estuvo más asociado al número de espigas fértiles m^{-2} (incluidos los macollos) que a maximizar el peso individual del grano (PMG).

Introducción

Actualmente, el Valle del Yaqui pasa por una situación de estrés hídrico que afecta cultivos como el trigo. En estas condiciones, el rendimiento depende del número de espigas fértiles por metro cuadrado (espigas m^2) que llegan a cosecha, así como de la partición del peso del grano entre la espiga principal (EP) y los macollos. Por eso, los macollos son importantes, ya que cada hijuelo que sobrevive puede producir una espiga fértil y aportar más granos/m^2. Entre trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y trigo cristalino (*Triticum durum*) existen diferencias fisiológicas. En general, el trigo harinero

presenta mayor plasticidad de macollaje y puede construir espigas/m² mediante macollos con espiga fértil; el trigo cristalino tiende a concentrar la asimilación en la espiga principal, lo que se traduce en granos más pesados (mayor PMG), pero menos macollos, a diferencia del harinero, que suele tener menor peso de grano, pero más espigas fértiles. Estas características son decisivas porque definen el balance entre espigas/m², granos por espiga y PMG. Por esto se necesitan estudios de campo que cuantifiquen cuánto aportan la espiga principal y los macollos al rendimiento en ambos tipos de trigo y cómo varían sus componentes (espigas fértiles m², granos por espiga de EP y de macollo, y PMG). El objetivo de este estudio fue comparar el rendimiento del trigo harinero y del trigo cristalino y cuantificar el aporte de la espiga principal y de los macollos al rendimiento, describiendo sus componentes con el fin de proponer implicaciones de manejo para asegurar espigas/m² sin penalizar el peso de grano.

Antecedentes

Sonora es una de las zonas más importantes para la producción de trigo en México. Según datos del SIAP, en el ciclo otoño-invierno 2024 se sembraron 440 813.55 ha de trigo en el país, se cosecharon 2 541 180.45 t de grano y se obtuvo un rendimiento promedio de 6.09 t ha^{-1}. En Sonora se sembraron y cosecharon 250 069 ha, con una producción de 1 582 946.94 t y un rendimiento de 6.33 t ha^{-1}; con ello, el estado aportó 62,29 % de la producción nacional de trigo grano (SIAP, 2024). La formación de macollos en el cultivo de trigo es un proceso fisiológico que se relaciona de manera positiva con el rendimiento, ya que cada macollo puede generar una espiga fértil. El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el trigo cristalino (*Triticum durum*) tienen diferencias en su capacidad de macollar. El trigo cristalino utiliza más su energía en el crecimiento del tallo principal y produce un menor número de macollos por planta en comparación con el trigo harinero, lo que favorece la eficiencia en el uso de recursos en ambientes áridos (Zapata et al., 2004).

El trigo harinero se distingue por su alta plasticidad en la producción de macollos; produce aproximadamente entre tres y seis hijuelos por planta en condiciones óptimas. Esto permite que la planta se adapte a condicio-

nes desfavorables, como el estrés hídrico en etapas iniciales, desarrollando estructuras secundarias fértiles siempre y cuando haya nutrientes y agua disponibles (Cocachi Bautista, 2021). Ramos y Maluquis (2024) evaluaron 26 genotipos de trigo harinero y cristalino en condiciones de altitud elevada, y observaron que las variedades harineras tenían más macollos por planta y por metro cuadrado, pero esto no determinó un mayor rendimiento, porque también depende del espigamiento fértil y del peso del grano. Por otra parte, Ramírez (2022) comparó el trigo harinero y el trigo cristalino bajo condiciones del noreste de México. Encontró que el trigo harinero mostró mayor cantidad de macollos y mejor respuesta a la fertilización nitrogenada, mientras que el trigo cristalino mostró estabilidad en el rendimiento a pesar de su menor capacidad de generar hijuelos. Esta diferencia fisiológica afecta el número de espigas por metro cuadrado y también al rendimiento, ya que los trigos harineros producen más espigas visibles y los cristalinos dependen más del peso de grano y tamaño de espiga (Lizárraga, 2015).

En el trigo cristalino sembrado en el Mediterráneo, las espigas de los macollos tienen un rendimiento del 40-60 % menos por espiga que el tallo principal. Los macollos aportan entre 35 y 50 % del rendimiento de la planta. Esto también depende de la fecha de siembra, ya que en el invierno se producen más macollos. En siembra tardía, a finales de invierno e inicios de la primavera, se reduce el macollaje y provoca pérdidas de 12 a 20 % de rendimiento. Los rasgos analizados que dan estabilidad son la antesis temprana, fase de alargamiento de tallo larga, alta tasa de iniciación de primordios y espigas pequeñas; es lo que mejora la partición entre tallo principal y macollos.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2024-2025, en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, en el Valle del Yaqui, Sonora (27°22'4.9" N latitud y 109°55'36.86" W longitud, 40 msnm). Se estudiaron las variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) llamada Borlaug 100 F2014 y trigo cristalino (*Triticum durum*) llamado CIRNO C2008, variedades obtenidas del programa de reproducción de semillas

del PIEAES, AC. La evaluación se realizó en un suelo arcilloso con manejo orgánico en rotación con trigo. Se reutilizó el surco del cultivo anterior, el cual estaba a 80 cm de separación. Se dieron tres pasos de cultivadora para mantener libre de maleza el terreno; antes del cuarto paso se fertilizó con 10 t/ha de gallinaza al boleo y con el cuarto paso se mezcló la gallinaza en el suelo. La siembra se realizó sobre humedad el 18 de diciembre de 2024. La sembradora fue de la marca Vázquez de fabricación local y tuvo la misma calibración para ambas variedades: por diferencia de tamaño de semilla, de la variedad harinera se sembró 89 kg/ha y de cristalino 80 kg. El método de siembra fue en surcos con dos hileras de plantas separadas a 30 cm. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio y se utilizó control biológico de plagas. El peso de mil granos fue de 53.7 en Borlaug 100 y 62.8 en CIRNO. Los granos por kilogramo fueron 18 622 en Borlaug y 15 916 en CIRNO, para una siembra de 1 657 358 semillas por hectárea en el caso de Borlaug y 1 273 280 semillas en CIRNO. Lo anterior representa 206 semillas en 3.1 metros lineales (1.24 m^2) en harinero y 158 semillas en cristalino.

En la cosecha se tomó una muestra de 3.1 metros lineales (1.24 m^2) de plantas en ambas variedades. Las plantas se extrajeron completas, incluida la raíz. Antes de separar las plantas, se mantuvieron en agua las raíces durante 12 horas para poder retirar el suelo que aún contenía la raíz. Después, se expusieron al sol para secarse por completo las raíces y, una vez secas, se pesaron los manojos de las dos variedades. Posteriormente, se etiquetó cada planta con un número para ser identificadas y el nombre de la variedad a la que correspondían. Una vez etiquetadas las plantas, se separaron por número de macollos encontrados, de 0 a 4 en cristalino y de 0 a 5 en harineros. Se cuantificaron las plantas de cada categoría; posteriormente, se pesó planta por planta para después cortarse la espiga de cada planta y pesarse. Además, se agregó a una bolsa cada planta para mantener la separación. Después se trilló manualmente cada espiga; por cuestiones de tiempo, una mitad se trilló a mano y la otra mediante una trilladora igualmente manual, lo cual nos ahorró la tercera parte de tiempo que nos llevó con la mano. Cada espiga trillada se metió dentro de un sobre para separar los granos de cada espiga. Al final, se pesaron los granos de cada espiga y se cuantificaron los granos de cada espiga. Todos estos datos se

anexaron a un Excel para analizar sus componentes, como el rendimiento total de grano, espigas fértiles m^2, granos por espiga, PMG, peso de espiga, índice de macollaje, tasa de aborto en macollos, aporte de los macollos en el rendimiento, plantas por metro cuadrado, entre otras.

Resultados

El trigo harinero (Triticum aestivum) alcanzó 5 885.73 kg ha^{-1}, mientras que el trigo cristalino (Triticum durum) obtuvo 3 456.77 kg ha^{-1}; la diferencia fue de 2 428.96 kg ha-1 (+70,27 % a favor del harinero). En harinero, los macollos aportaron 53,27 % del peso total de grano y la EP 46,73 %; en cristalino, la EP aportó 61,92 % y los macollos 38,08 %. La densidad de espigas con grano fue mayor en harinero (92 m^{-2}) que en cristalino (72 m^{-2}). La tasa de aborto de macollos fue menor en harinero (42,06 %) que en cristalino (47,57 %). El PMG fue superior en cristalino (52,25 g) frente a harinero (42,74 g).

Figura 1. A) *Secado de raíces, B) Etiquetado de plantas y C) Peso y conteo de grano por espiga.*

Tabla 1. *Resultados de componentes.*

Componentes	Harinero	Cristalino
Rendimiento (kg/ha)	5885,73	3456,77
Aporte EP (% peso)	46,73	61,92
Aporte macollos (% peso)	53,27	38,08
Macollos fértiles/planta (prom.)	2	2
Espigas fértiles/planta (tot.)	3	3
Tasa de aborto de macollos (%)	42,06	47,57
Granos/espiga EP (prom.)	54	43
Granos/espiga macollo (prom.)	40	27
Granos totales EP (n)	7789	5042
Granos totales macollos (n)	9237	3253
Peso de grano/espiga EP (g)	341,02	265,4
Peso de grano/espiga macollo (g)	388,81	163,24
PMG (g/1000 granos) total	42,67	51,67
Plantas muestreadas (n)	141	114
Numero de plantas por m2	114	92
Área muestreada (m^2)	1,24	1,24
Espigas fértiles/m^2	271	174
Espigas m2	281	179
Granos m2	13731	6690
Semilla kg/ha	89	80

Discusión

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) superó en rendimiento al trigo cristalino (*Triticum durum*) con 70.27 % más. Esto se explica porque hubo mayor número de espigas fértiles por m² en el caso del trigo harinero, menor tasa de aborto en macollo y, sobre todo, mayor aporte al rendimiento por parte de los macollos, mientras que el trigo cristalino centró toda su energía y nutrientes en la espiga principal y obtuvo un PMG mayor debido a su fisiología. Esto nos confirma la literatura que menciona que existe un patrón en el que las espigas de los macollos tienden a rendir 40-60 % menos por espiga que la espiga principal; si esos macollos sobreviven y crecen oportunamente, su contribución al rendimiento de la planta puede alcanzar 35-50 %. (Arduini et al., 2018). En nuestro estudio, el 53 % de la aportación de los macollos está por encima del rango.

En componentes del rendimiento, el trigo cristalino demostró que genera más granos por espiga principal y mayor PMG, pero reduce su cantidad de espigas con grano por m² y obtuvo menor contribución de macollos. Ante esto se produjo un menor número de granos por m² que, aunque fueran más pesados, no superaron el rendimiento del trigo harinero.

En estudios realizados en ambientes mediterráneos, mencionan que, bajo la limitación de agua, el rendimiento del tallo principal depende más de granos por espiga y granos por espiguillas, mientras que el PMG y el número de espiguillas pesan menos que en riego (Arduini et al., 2018). Con esto podemos entender por qué el trigo cristalino, a pesar de tener un PMG mayor, no compensó la menor densidad de espigas y el aborto de los macollos.

La literatura coincide en que aumentar la densidad de siembra eleva las espigas/m² y el rendimiento, aunque puede reducir el PMG y los granos por espiga por mayor competencia de nutrientes (Melash et al., 2023). La tasa de siembra óptima es diferente y específica para cada variedad y depende de la fertilidad de la variedad. Subir de 75 a 200 kg ha aumentado macollos productivos/biomasa/rendimiento, pero una densidad de población grande puede bajar el rendimiento por el PMG (Shibeshi, 2024; Gebeyehu, 2019; Amare Assefa, 2017).

En nuestro estudio, donde el trigo harinero rindió más por mayores espigas fértiles y mayor aporte de macollos, aunque tuvo PMG menor, confirma que entre más espigas hay, más competencia por nutrientes, por lo que los granos generados son más pequeños. En la literatura también se menciona que la interacción NPSxN en la nutrición se asocia a incrementos en número de macollos y rendimiento, dando a entender que la disponibilidad de nutrientes tempranos favorece la emergencia y supervivencia de los macollos fértiles (Ishete y Tana, 2019). En nuestro estudio no se evaluó la disponibilidad de N ni su interacción con el crecimiento de macollos, pero puede ser una buena estrategia. Con esto, para plantas de menor macollaje como lo es el trigo cristalino, una densidad de siembra más alta y un N temprano pueden asegurar más espigas por m², mientras que el trigo harinero, que tiende a tener una mayor plasticidad, permite alcanzar la meta con densidades moderadas, incluso sin nutrientes.

El estrés térmico de las siembras tardías también influye en el macollaje. En un estudio realizado en el valle del Yaqui, se realizó un experimento de aumentar +2°C durante la etapa de macollaje. Como respuesta a esto, se redujo significativamente el número de macollos y se alteró el balance hormonal, lo que afectó negativamente el rendimiento (Morales-Coronado et al., 2019). Esto confirma que, bajo sequía terminal, la supervivencia y los tiempos de siembra de las plantas, los macollos que llegan a espiga fér-

til son más determinantes que el número máximo de macollos emergidos y nos sugiere mantener estrategias entre la fecha de siembra, la densidad y los nutrientes aplicados para contrarrestar el efecto del calor.

En cuanto a la metodología utilizada en este estudio, la cual fue realizando todo el conteo manualmente y analizando datos mediante estadística, se encontró entre la literatura un protocolo llamado SOFATT (Seed Only a Few y Then Thin). Este aísla la capacidad intrínseca de macollar en plantas espaciadas y la compara entre los genotipos con un índice normalizado. Esto no sustituye la evaluación en cultivo a gran escala, pero permite realizar análisis con una densidad objetivo a campo para alcanzar espigas por m² sin afectar el PMG (Stanley et al., 2020). Pero las evaluaciones factoriales y de varianza confirman los efectos significativos de los tratamientos sobre el número de macollos, granos por espiga y PMG, confirmando que el rendimiento corresponde a genotipo, ambiente y manejo (Khan et al., 2016).

Se dice que la capacidad de macollaje se relaciona con el riego. En un estudio se utilizó el encharcamiento de las plantas para analizar su respuesta y se encontró que los macollos son sensibles al exceso de agua; este reduce su emisión y supervivencia, espigas por m² y sus componentes, aunque algunos genotipos sí amortiguaron bien el encharcamiento, pero esto se debe a los rasgos de macollaje y fenología de cada planta (Pais et al., 2024).

En total, toda la evidencia externa y los resultados de este estudio confirman que el rendimiento superior del trigo harinero proviene del número de espigas por m² y su capacidad de macollaje fértil, mientras que el trigo cristalino compensa esta reducción con PMG alto, solo que depende más de la espiga principal.

Conclusiones

En nuestro estudio en el Valle del Yaqui, el trigo harinero obtuvo mayor rendimiento que el cristalino (5885.73 vs. 3456.77 kg ha^{-1}; +70,27 %) debido a su mayor densidad de espigas fértiles y a la mayor contribución de los macollos al rendimiento total, a pesar de presentar PMG menor. En trigo cristalino, el PMG elevado no compensó la menor densidad de espigas, resultando en menos grano por superficie.

Referencias

Arduini, I., Pellegrino, E., y Ercoli, L. (2018). *Contribution of main culm y tillers to grain yield of durum wheat: Influence of sowing date y plant traits.* Italian Journal of Agronomy, 13(3), 235–247. https://doi.org/10.4081/ija.2018.1115

Assefa, A., y Kassaye, M. (2017). *Response of bread wheat (Triticum aestivum L.) varieties to different seeding rate for growth, yield y yield components in Kombolcha District, North-Eastern Ethiopia.* Journal of Biology, Agriculture y Healthcare, 7(23), 79–91

Cochachi Bautista, M. J. (2021). *Comparativo del rendimiento y sus componentes asociados en líneas uniformes de trigo harinero (Triticum aestivum L.) resistentes a roya.* Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8118/T010_72451337_T.pdf

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024). *Anuario estadístico de la producción agrícola (Cierre de la producción agrícola).* Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C., y García del Moral, L. F. (2007). *Contribution of main stem y tillers to durum wheat (Triticum turgidum L. var. durum) grain yield under Mediterranean conditions y its relation to agronomic traits.* Field Crops Research, 103(1), 25–35. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.05.008

Gebeyehu, B. (2020). *Review on: Response of bread wheat (Triticum aestivum L.) to seeding rate on yield y yield components.* Journal of Current Research in Food Science, 1(1), 60–65

Ishete, T. A., y Tana, T. (2019). *Growth, yield component y yield response of durum wheat (Triticum turgidum L. var. durum) to blended NPS fertilizer supplemented with N rates at Arsi Negelle, Central Ethiopia.* African Journal of Plant Science, 13(1), 9–20. https://doi.org/10.5897/AJPS2018.1697

Khan, I., Khan, S. U., Khan, K. M., Khan, A., Gurmani, A. R., Ali, S., … Ali, A. (2016). *Evaluation of five different wheat (Triticum aestivum L.) genotypes under drought stress conditions at Haripur Valley.* International Journal of Biosciences, 8(5), 236–241. https://doi.org/10.12692/ijb/8.5.236-241

Lizárraga Crispín, I. V. (2015). *Rendimiento y caracterización agronómica de líneas de trigo de primavera procedentes del CIMMYT-México.* Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/973/LIZARAGA %20CRISPIN, %20IVAN %20 VLADIMIR.pdf

Melash, A. A., Bogale, A. A., Mengstu, S. G., Aberra, D. A., Tsegay, A., y Mengistu, D. K. (2023). *Sustainable management practices for durum wheat production: Analyzing specific agronomic interventions on productivity, grain micronutrient content, y quality. Heliyon*, 9. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18733

Morales-Coronado, D., Argentel-Martínez, L., Castro-Espinoza, L., Gutiérrez-Coronado, M. A., Garibaldi-Chávez, J., y Ortiz-Enríquez, J. (2019). *Global warming is reducing the tillering capacity y grain yield of wheat in Yaqui Valley, Mexico.* Agronomía Colombiana, 37(1), 90–96. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.75736

Pais, I. P., Moreira, R., Coelho, A. R., Semedo, J. N., Reboredo, F. H., Coutinho, J., Lidon, F. C., Maçãs, B., y Scotti-Campos, P. (2024). *Unveiling the impact of growth traits on the yield of bread wheat germplasm subjected to waterlogging.* Agriculture, 14(2), 241. https://doi.org/10.3390/agriculture14020241

Pampana, S., Masoni, A., y Arduini, I. (2016). *Grain yield of durum wheat as affected by waterlogging at tillering.* Cereal Research Communications, 44(4), 706–716. https://doi.org/10.1556/0806.44.2016.026

Ramírez Cortez, N. C. (2022). *Evaluación del comportamiento agronómico y calidad tecnológica de trigos (T. aestivum y T. durum) en La Ascensión, Aramberri.* Universidad Autónoma de Nuevo León. http://eprints.uanl.mx/25422/1/1080328799.pdf

Ramos Ortiz, J., y Maluquis Cieza, G. (2024). *Evaluación del rendimiento y sus componentes de 26 genotipos de trigo (Triticum aestivum L.) en el distrito de Chota, región Cajamarca.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Shibeshi, S. (2024). *Review on the effect of seed rate y improved varieties on grain yield of bread wheat (Triticum aestivum L.) in Ethiopia.* Middle East Research Journal of Agriculture y Food Science, 4(6), 202–205. https://doi.org/10.36348/merjafs.2024.v04i06.001

Stanley, J. D., Mehring, G. H., Wiersma, J. J., y Ransom, J. K. (2020). A *standardized method for determining tillering capacity of wheat cultivars.* American Journal of Plant Sciences, 11(5), 604–625. https://doi.org/10.4236/ajps.2020.115046

Zapata, C., Silva, P., y Acevedo, E. (2004). *Comportamiento de isolíneas de altura en relación con el rendimiento y distribución de asimilados en trigo.* Agricultura Técnica, 64(2), 148–158. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0365-28072004000200003

Capítulo **101**

Dinámica de infestación natural de *Dactylopius opuntiae* en nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) bajo condiciones áridas en Baja California Sur, México

Tirado Jara Julio Martín[1*]
Romero Bastidas Jesús Iván[1]

[1] Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Agronomía, Laboratorio de Plagas Agrícolas. *jm.tirado@uabcs.mx.

Resumen

La cochinilla (*Dactylopius opuntiae*) ocasiona pérdidas significativas en la producción de nopal en Baja California Sur. Conocer la capacidad de infestación y reinfestación del insecto es clave para establecer estrategias de manejo efectivas. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la infestación y reinfestación natural de *Dactylopius opuntiae*. En nopal verdura (Opuntia ficus-indica) cultivado en zonas áridas de Baja California Sur. Se establecieron dos lotes de nopal verdura en campo: Lote 1 (baja infestación) y Lote 2 (alta infestación). En cada lote se seleccionaron 20 plantas al azar, donde se contabilizó semanalmente el número de cochinillas durante un periodo de 60 días. Para el lote 1 se evaluó como infestación inicial; para el lote 2 se determinó para la reinfestación, al contar y eliminar previamente los insectos en la planta. La tasa de infestación y reinfestación, así como la densidad poblacional inicial y final del insecto, fueron evaluadas. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, calculando valores promedio. Además, se realizó la identificación morfológica del insecto y su comparación con claves entomológicas. Los resultados revelaron variaciones temporales en la abundancia de cochinillas entre los lotes. La mayor población se registró en el lote de infestación (139 insectos/planta) comparado con el lote de reinfestación (134 insectos/planta). El insecto identificado fue *Dactylopius opuntiae* y se determinó que su infestación y reinfestación estuvieron influenciadas por la disponibilidad de alimento.

Introducción

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es considerado un cultivo alternativo de gran relevancia en zonas áridas y semiáridas (Torres-Ponce et al., 2015). Actualmente, en Baja California Sur, ha surgido el interés de aumentar las áreas de siembra debido a su importancia económica y social, lo que representa un ingreso significativo para la región (SAGARPA, 2023). Durante su pro-

ducción, el nopal enfrenta la presencia de diversas plagas, entre las cuales sobresale la cochinilla, caracterizada por su cubierta algodonosa blanca, que le proporciona protección frente a depredadores, parasitoides, radiación solar y agroquímicos (Palafox-Luna, 2018). Esta plaga, su crecimiento se da por cinco estadios (huevecillos, ninfa, prepupa, pupa y adulto). El daño a la planta lo produce la hembra, al succionar la savia con su aparato bucal picador-chupador. Este proceso debilita las células de los tejidos que posteriormente se tornan amarillos en la superficie en la zona afectada. El control más utilizado es mediante insecticidas sintéticos; sin embargo, en condiciones de alta infestación, la producción disminuye e incluso la planta puede morir (Dongi et al., 2018). La densidad poblacional de *Dactylopius opuntiae* depende de diversos factores ambientales y del estado fisiológico del hospedero; esto puede variar según la región del cultivo. Por lo tanto, es importante conocer el tiempo de infestación y reinfestación del insecto en regiones áridas y con ello establecer nuevas estrategias de monitoreo, manejos culturales y aplicaciones oportunas de insecticidas. En el estado de Baja California Sur, la información disponible sobre tiempo y niveles de infestación natural es limitada y posiblemente subestimada. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la capacidad de infestación y reinfestación de *Dactylopius* sp. en nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en zonas áridas de Baja California Sur, México.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó durante junio y julio de 2025, en La Paz, BCS (24°8'32.3" N 110°18.79' O). Para la identificación del insecto, se recolectaron 50 especímenes de cochinilla de cladodios usando un cepillo de cerdas suaves, los cuales se depositaron en frascos estériles. Posteriormente, los insectos fueron deshidratados con alcohol y etanol, montados en portaobjetos y observados bajo un microscopio estereoscópico, y se les retiró la capa algodonosa con una aguja entomológica. Para la caracterización morfológica se utilizaron claves entomológicas. Para evaluar los procesos de infestación y reinfestación, el área de cultivo de nopal fue dividida en dos lotes; según el grado de infestación inicial que presentaban, en cada lote se seleccionaron y etiquetaron 20 plantas al azar. Donde,

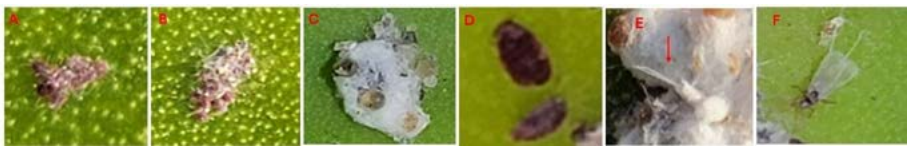
en el lote 1, la presencia de cochinilla era baja, por lo que se determinó la infestación natural, mediante el conteo de insectos en las plantas; en el lote 2, se presenta una alta infestación de cochinilla, por lo que se evaluó la reinfestación, mediante el conteo inicial de insectos en las plantas, seguido de su eliminación total en el cultivo manualmente, posteriormente el conteo sobre el repoblamiento de la cochinilla. El periodo de evaluación fue semanalmente durante 60 días. La tasa de infestación y reinfestación, así como la densidad poblacional inicial y final del insecto, fueron evaluadas. Los datos fueron sujetos a un análisis estadístico descriptivo y se calcularon valores promedio.

Resultados y discusión

Identificación

Los especímenes recolectados fueron identificados en los estadios de ninfa de primer estadio, ninfa de segundo estadio, hembra adulta, pupa y macho adulto. Las ninfas de primer estadio y hembras adultas presentaron coloración rojiza. La ninfa de segundo estadio presentó cera de aspecto algodonoso que las cubría por completo (Figura 1B). Las colonias de hembras adultas presentaban forma ovalada con segmentos abdominales definidos y secretaban una sustancia líquida color ámbar. La pupa se caracterizó por una coloración blanca, de forma tubular con filamentos externos. El macho adulto presentó cuerpo alargado y un par de alas, cuya longitud superaba la de su cuerpo. Dichas características son consistentes con Dactylopius opuntiae y coinciden con lo reportado por El-Aalaoui et al. (2020).

Figura 1. *Etapas de desarrollo de D. opuntiae. A = ninfa 1, B = ninfa 2, C y D = hembras adultas, E) pupa del macho y F) Macho adulto.*



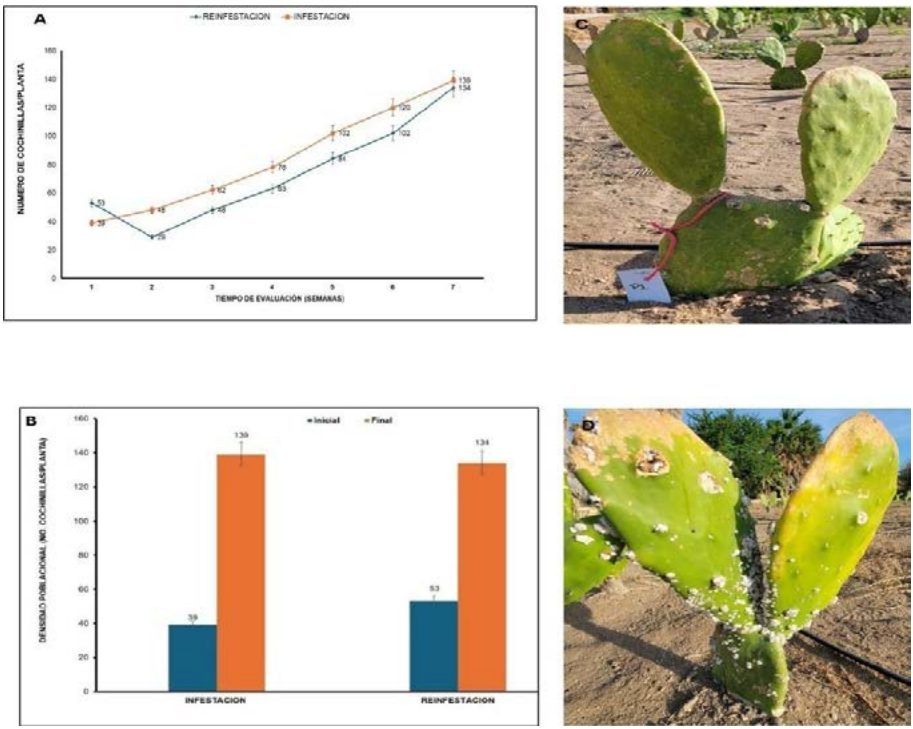
Tasa de infestación y reinfestación

Los niveles de infestación y reinfestación de *D. opuntiae* fueron similares entre los lotes de *Opuntia* evaluados, donde se determinó en ambos la población del insecto. La tasa poblacional de ninfas y adultos presentó una relación con el estado sanitario de cada lote y, en consecuencia, con el nivel de suculencia de los cladodios. En el lote de infestación natural, la población alcanzó su punto máximo (48 individuos) en la segunda semana. En contraste, en el lote con reinfestación, la densidad poblacional se elevó lentamente y solo registró su valor más alto (83 individuos) a partir de la tercera semana (Figura 2A). Se observó que las plantas del lote 1 ofrecían mayor disponibilidad de alimento, lo que favorecía una tasa reproductiva en comparación con el lote 2, donde los cladodios habían sido desprovistos de cochinilla y presentaban menor suculencia. Estos resultados coinciden con lo señalado por Flores-Hernández et al. (2006), quienes reportaron un bajo promedio poblacional (131 individuos) al mantenerlos sin alimento comparado con los que tenían alimento. Esta diferencia se atribuye principalmente a factores asociados con la calidad, nutrición y estrés de los cladodios. Mientras que Palafox-Luna et al. (2017) señalan que las diferencias en la capacidad reproductiva entre las especies de *Dactylopius* están en la relación insecto-hospedero, por lo que se requieren más estudios para entender cómo se manifiesta el potencial reproductivo en cada especie.

Densidad poblacional

Los datos evidenciaron que la densidad media de ninfas aumentó de manera significativa en cada periodo de evaluación en comparación con el anterior. La población máxima registrada fue de 139 individuos por planta en el lote de infestación, mientras que la población mínima fue de 134 en el lote de reinfestación a los 60 días de evaluación (Figura 2B). Este comportamiento podría estar relacionado con el estado nutricional de los tejidos en los cladodios. Dongi et al. (2018) reportan que el daño que *D. tomentosus* causa en *O. ficus-indica* refleja una interacción huésped-parásito en la cual el incremento en la densidad de ninfas durante el periodo de infestación se asocia con la reducción del grosor de cladodios.

Figura 2. *A y B) Infestación y reinfestación de D. opuntiae. A, C) Nopal del lote de infestación y D) Nopal del lote de reinfestación.*



Conclusiones

D. opuntiae es una plaga altamente perjudicial para *Opuntia ficus-indica*. Su infestación y reinfestación están influenciadas por la disponibilidad de alimento.

Referencias

Dongi E., Mabhegedhe M. y Chikodzi D. (2018). *Effects of Dactylopius tomentosus infestation on the morphology of Opuntia fiscus-indica plant species growing in Masvingo Province, Zimbabwe*. International Journal of Biodiversity y Conservation, 10(11), 471-478.

Flores-Hernández, A., B. Murillo-Amador, E. Rueda-Puente, J. Salazar-Torres, J. García-Hernández, y E. Troyo-Dieguez. (2006). *Reproducción de cochinilla silvestre Dactylopius opun tiae (Homoptera: Dactylopiidae).* Rev. Mex. Biodiv. 77, 97 102.

Palafox-Luna J. A., Rodríguez-Leyva E., Lomeli-Flores J. R., Vigueras-Guzmán A. L y Vanegas-Rico J. M. (2018). *Ciclo de vida y fecundidad de Dactylopius opuntiae (Hemiptera: dactylopiidae) en Opuntia ficus-indica (Caryophyllales: Cactaceae).* AGROCIENCIA, 52, 103-114.

SAGARPA (2023). *Gestionó AGRICULTURA mayor superficie de Nopal Forrajero para la Zona Costa de BC.* https://www.gob.mx/Agricultura%7/ Baja california.

Torres-Ponce R. L. Morales-Corral D., Ballinas-Casarrubias M. L. y Nevárez Moorillón G. V. (2015). *El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6(5), 1129-1142.

El-Aalaoui, M., R. Bouharroud, M. Sbaghi, M. El Bouhssini y L. Hilali. (2020). *Seasonal biology of Dactylopius opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae) on Opuntia ficus-indica (Caryophyllales: Cactaceae) under field y semi field conditions.* International Journal of Sciences y Research, 76(1/1):259-271.

Capítulo **102**

Efecto de fertilización orgánica en el desarrollo y producción de chiles (*Capsicum annuum* L.) criollos de Morelos y Jalisco, México

Verdugo Pérez Sergio[1]
Pacheco Quintero Antonio[1]
Pacheco Olvera Antonio[1]
Hernández Verdugo Sergio[1]
Osuna Rodríguez José Manuel[1]

[1] Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. *Giogorez82@gmail.com.

Resumen

Con la finalidad de aportar información sobre el desarrollo y producción de cinco poblaciones de chiles criollos de Morelos y Jalisco bajo tres fuentes de fertilizantes orgánicos y un testigo sin fertilizante, se planteó el presente trabajo de investigación en los terrenos experimentales de la Universidad Autónoma de Sinaloa, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consistió en cuatro plantas con una separación entre ellas de 50 cm y entre surcos 100 cm. El trasplante se realizó el 4 de diciembre de 2023 y las aplicaciones de los fertilizantes orgánicos, 200 g de los fertilizantes sólidos cada 20 días y del té de humus, 1 l en 5 l de agua semanal. Las variables fueron altura de plantas, diámetro de tallo, peso de fruto, largo de fruto, ancho de fruto, grosor de la pared del fruto y peso de semillas. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía, así como una comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer (α, 0.05). Los resultados mostraron diferencias significativas en todas las variables en los 24 tratamientos, en donde los tratamientos chile criollo Morelos con los diferentes fertilizantes tuvieron los frutos más pesados. Sin embargo, para el factor fertilización orgánica, los análisis de varianza mostraron variación significativa para las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto, largo de fruto y peso de semilla. Para este factor, el tratamiento con lombricomposta presentó los valores más altos para las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y peso seco de semilla por fruto.

Introducción

El género Capsicum (*Solanaceae*) se encuentra constituido por 30 especies aproximadamente, las cuales se encuentran distribuidas desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de Argentina (Eshbaugh, 1980; Pickersgill, 1984). Su centro de origen es América del Sur con 22 especies endémicas

(Hunziker, 1979). Se considera que la especie *C. annuum* fue domesticada en México (Pickersgill, 1984); a esta especie pertenecen los morfotipos cultivados conocidos localmente como "cola de rata", "tequila", "cascabel", "Piquín bola chica", "Piquín bola grande", Pico de penco "ancho", "serrano" y "morrón", entre otros. En particular, las condiciones edafoclimáticas de los estados de Jalisco y Morelos han permitido condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de diferentes morfotipos de la especie *C. annuum*. Sin embargo, el manejo agronómico se realiza mediante un manejo químico, lo cual ha ocasionado compactación de suelos, bajos niveles de materia orgánica y contaminación. Por lo cual, la fertilización orgánica es una alternativa; prueba de ello es que, en México, se tienen registradas 76 zonas de producción orgánica distribuidas en 22 estados, lo cual, además de incrementar los ingresos de los pequeños productores por la venta de sus productos, propicia el mejoramiento del suelo (López-Gonzáles y Mijangos-Leal, 2001). Se han realizado algunos trabajos con fertilización orgánica, como el realizado por Escalante (2000) con fertilización nitrogenada orgánica e inorgánica en el cultivo de sandía (Citrus vulgaris), con fertilización orgánica, donde la producción fue de 18.31 g para la dosis de 40 kg ha^{-1}, así como el realizado por Arcos et al. (2012) sobre la respuesta del chile habanero al suministro de abono orgánico en Tabasco, encontrando que la altura de planta en el tratamiento con infusión de estiércol superó al testigo con un 202 %, mientras que en la variable diámetro de tallo, en el tratamiento con lombricomposta, las plantas presentaron un 115 % mayor que con el testigo. Sin embargo, aún son escasos los estudios enfocados en la fertilización orgánica en variedades locales. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de cuatro fertilizantes orgánicos en poblaciones criollas de chile de los estados de Morelos y Jalisco, México.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en los terrenos experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizados a los 18° 36´44" latitud norte y 99° 36´44" longitud oeste y a una altitud de 45 msnm. El clima de esta región se clasifica como BSh (semiárido-ca-

liente) por el sistema Köppen-Geiger, definido como estepa local, con una temperatura media anual de 24.7°C y una precipitación de 683 mm al año. El terreno donde se estableció el experimento es un suelo arcilloso, tipo vertisol negro, con una superficie de 6.0 m de anchura por 35 m de longitud. En el terreno se realizó una limpieza de maleza, y se formaron los surcos de 1.0 m de ancho por 35 m de longitud. El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consistió en un surco de cuatro plantas. Se formaron 24 tratamientos en total con seis poblaciones criollas (chile criollo Morelos), una de Morelos y cinco de Jalisco, así como tres fertilizantes orgánicos que fueron lombricomposta, bocashi, humus y testigo sin fertilizante. La siembra se realizó el 8 de septiembre de 2023 en charolas de poliestireno de 180 cavidades, y el trasplante se realizó el día 4 de diciembre del 2023. 15 días previos al trasplante se depositaron 200 g cada 20 días de los fertilizantes orgánicos sólidos, mientras que los fertilizantes orgánicos líquidos se aplicaron semanalmente a razón de 1 litro de fertilizante en 5 litros de agua aplicado en el follaje. Las variables evaluadas fueron altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), peso de fruto (g), largo y ancho de fruto (mm), grosor de la pared de fruto (mm) y peso de semillas (g). Los datos obtenidos de las variables evaluadas se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía para cada variable, así como una comparación de medias por el método Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$). Los datos se analizaron mediante el paquete estadístico JMP (SAS 1995).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran diferencias significativas en todas las variables estudiadas en los 24 tratamientos conformados, lo que significa alta variación morfológica en estas poblaciones de chile en combinación con fertilización orgánica (datos no mostrados). El análisis de varianza para el factor fertilizantes orgánicos mostró diferencias significativas para las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto, largo de fruto y peso de semilla. Para el resto de las variables se mostraron diferencias no significativas. Para este factor, fertilización orgánica, el tratamiento con lombricomposta presentó los valores

más altos en las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y peso seco de semilla por fruto (1.89 m, 18.33 mm, 3.83 g y 0.494 g). La fertilización con té de humus presentó los mayores valores en la variable largo de fruto. Estos resultados coinciden con los realizados por Arcos et al. (2012), en donde estudiaron la respuesta del chile habanero al suministro de abonos orgánicos, donde encontró que la fertilización con el fertilizante Lombricomposta las plantas de chile habanero presentaron los mayores diámetros de tallo, así como el peso del fruto expresado en toneladas ha^{-1}, mientras que con la infusión de té incrementó la altura de planta. En cuanto a la aplicación de lombricomposta, este trabajo también coincide con el de Hernández-Hernández-Tapia et al. (2015), donde evaluaron el efecto de tres abonos orgánicos (lombricomposta, bocashi y tierra de corral) en un cultivo de jitomate intercalado con pepino, donde encontraron que el tratamiento de lombricomposta a razón de 1.5 kg/m^2 incrementó el rendimiento de pepino; con respecto al fertilizante bocashi, al incrementar la dosis aplicada, el rendimiento fue disminuyendo.

Cuadro 1. *Promedios y comparación de medias de las variables evaluadas en las ocho poblaciones de chile manzano del estado de Morelos, México.*

Tratamiento	Apt (m)	Dta (mm)	Pfr (g)	Lfr (mm)	Afr (mm)	Gper (mm)	Psf (g)
Lombricomposta	1.89 a	18.33 a	3.83 a	19.40 ab	10.45 a	0.743 a	0.494 a
Té de humus	1.76 ab	16.18 b	2.87 ab	22.24 a	10.64 a	0.722 a	0.374 b
Bocashi	1.83 ab	17.36 ab	2.75 b	17.43 b	10.47 a	0.761 a	0.376 b
Testigo	1.68 b	16.69 ab	2.71 ab	18.69 ab	08.89 a	0.716 a	0.323 b
F	0.0155	0.0199	0.0187	0.0103	3.1714	0.7485	0.0016
CV	20.12	24.74	165.5	95.82	60.40	72.83	133.67

Apl=altura de planta; Dta= Diámetro de tallo; Pfr= Peso de fruto; Lfr=Largo de fruto; Afr= Ancho de fruto; Gpe= Grosor del pericarpio y Psf=Peso de semilla por fruto. Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey, $p<0,05$).

Conclusiones

Las poblaciones de chile criollo de Morelos y Jalisco, México, en combinación con tres fertilizantes orgánicos y un testigo sin fertilizante, pre-

sentaron diferencias significativas en todas las variables estudiadas. La aplicación de fertilizantes orgánicos no influyó significativamente en las variables ancho de fruto y grosor del pericarpio. La aplicación de lombricomposta presentó los mayores valores en las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y peso de semilla por fruto. Las plantas de chile mediante fertilización con té de humus presentaron la mayor longitud de fruto. En las siete variables estudiadas, los coeficientes de variación (CV) estuvieron arriba del 20%, a lo que Nooryadan et al. (2010) y Lewu et al. (2009) interpretan como la presencia de una amplia variación.

Referencias

Arcos, M. L., Matu, J. E. P., y Cortez, M. A. M. (2012). *Respuesta del chile habanero (Capsicum chinense L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México.* Revista Científica UDO Agrícola, 12(2), 307-312. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4688425.pdf

Escalante Y.M. (2000). C*alidad nutricional de tomate bajo manejo orgánico* [Tesis de Licenciatura, UAS].

Eshbaugh, W. H. (1980). *The taxonomy of the genus Capsicum (Solanaceae).* Phytologia, 47, 153-166. https://doi.org/10.5962/bhl.part.4455

Hernández-Tapia A., Ardé-Rivero L., Corlay-Chee L y Cruz-Rodriguez J.A. (2015). *Efecto de tres abonos orgánicos: Lombricomposta, Bocashi y Tierra de corral en un cultivo intercalado de jitomate (Solanum lycopersicon) y pepino (Cucumis saltivus) bajo invernadero en el ejido el Limón, Tepalcingo, Morelos, México.*

Hunziker A.T. (1979). *South America Solanaceae: a synoptic survey. In Hawkes J, Lerster R.N., skelder A.D. The biology anhd Taxonomy of the solanaceae.* Academic Press, London. 49-85

López-González, L., y Mijangos-Leal, M. A. (2001). *La agricultura orgánica: Una aliada económica para los pequeños productores.* En M. del C. Rojas-Canales, L. López-González, J. Cabrera-Torres, y J. M. Pons-Gutiérrez (Eds.), La cultura de la tierra: Conceptos y experiencias para la agricultura sustentable. 160–182. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Lewu F.B., Grierson D.S.y Afoloyan A.J. (2007). *Morphological diversity among accessions of Pelargonium sidoidesDC.* In the Eastern Cape, South Africa. Genetic Resources y Crop Evolution, 54, 1-6. https://doi.org/10.1007/s10722-006-9000-0

Nooryazdan H.; H. Serieys Baciliéri R. y David J. (2010). *Structure of wild annual sunflower (Heliantuhus annus L.) accesions based on agromorphological traits.* Genetic. Resource and. Crop Evolution, 57, 27-39. https://doi.org/10.1007/s10722-009-9448-9

PICKERSGILL, B. (1984). *Migrations of chili peppers, Capsicum spp., in the Americas.* 105-123. Pre-Columbian Plant Migration. Papers of the Peabody Museum of Archeology y Ethnology. 6. Stone, D (ed). Harvard University Press, Cambridge, MA.

SAS Institute. (1995). *Statistical y Graphical Guide.* SAS Institute Inc. North Caroline.

Capítulo **103**

Desarrollo de bebida de caña "Wuara", alternativa de sostenibilidad y valor agregado en el cultivo en el dorado, Sinaloa

Cano Campos Mirta Candelaria[1*]
López García Altagracia[2]
Zazueta Torres Norma Delia[1]
Díaz Izabal Alejandro[1]
Rojas Pérez Hector[1]
Cazares Soto Felipe de Jesús[3]
Cazares Soto José Manuel[1]

[1] Tecnológico Nacional de México/ITS Eldorado- División de ingeniería en industrias e ingeniería en innovación agrícola sustentable. *mirta.cc@eldorado.tecnm.mx.
[2] Grupo ALMIR innovación y desarrollo de nuevos productos de valor agregado.
[3] Agroorgánicos Eldorado, Nutrientes Orgánicos/especializada en insumos orgánicos, Carretera Culiacán-Eldorado km 5.3, Las Palmas, Eldorado, Sinaloa.

Resumen

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea perenne; su tallo, rico en sacarosa, ha representado uno de los principales cultivos agroalimentarios y motor económico en Eldorado, Sinaloa. Es utilizada en la industria azucarera, para la zona de abastecimiento del ingenio Eldorado, hoy conocido como Serapio Group. Se utilizó caña de azúcar de la variedad CP 72-2086, procedente de la localidad El Higueral, Eldorado. Se obtuvo un rendimiento del jugo de caña de 43,80 % y un pH de 5.33. Se desarrolló una bebida "Wuara" utilizando una formulación de jugo de caña y pulpa de fruta de maracuyá (*Passiflora edulis*) como alternativa de sostenibilidad e innovación. Esta bebida cuenta con calidad aceptable, aplicando un tratamiento de pasteurización a 95°C/15 min. Se almacenó en refrigeración a 4-6°C con una estabilidad satisfactoria de 30 días, con pH 2.5, 15.7°Brix, un aporte energético de 70 kcal/100 g. Cumple con la normatividad vigente: etiquetado y especificaciones sanitarias e higiene. No se detectaron coliformes totales, *E. coli* y *Salmonella* spp. en la bebida formulada. Es esencial el aprovechamiento del cultivo de caña y generar recursos que promuevan valor económico y social, de manera sostenible en bienes de consumo en la región de Eldorado, Sinaloa, zona con un valle fértil para la producción de caña; el suelo cumple con las características que demanda el cultivo.

Introducción

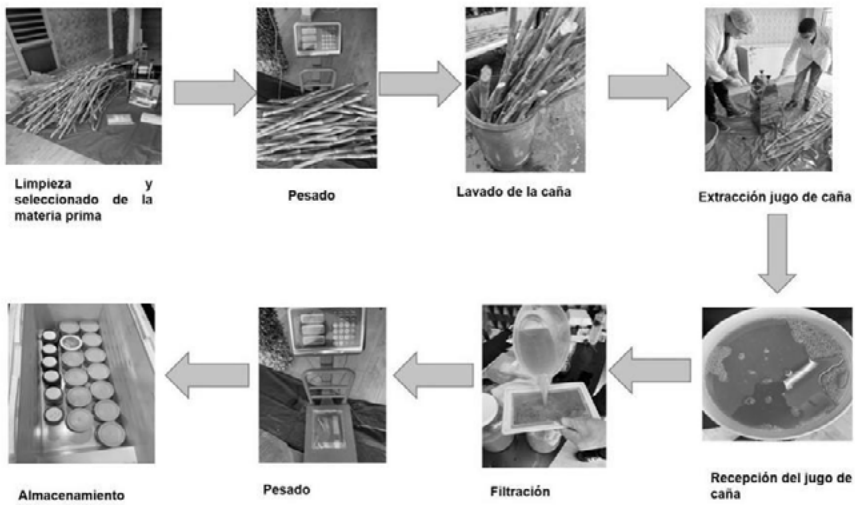
En México, la agroindustria azucarera contribuye con aproximadamente el 2,5 % del PIB, genera aproximadamente 440 mil empleos directos y 2,2 millones de empleos indirectos. El municipio de Eldorado, Sinaloa, es conocido por su clima cálido y suelos fértiles, lo que lo convierte en una zona ideal para el cultivo de caña de azúcar. La caña producida es destinada para la producción azucarera por la empresa Ingenio Azucarero Serapio Group, antes conocido como Ingenio Eldorado, el cual ayuda a reactivar la economía de la región (SAGARPA, 2025). En muchas zonas rurales del estado, ofrecen jugo de caña fresco, obtenido de la molienda de caña, una bebida tradicional con

la opción de agregar limón o jengibre y resaltar su sabor dulce y refrescante. En algunos casos, las bebidas artesanales no se producen en condiciones de higiene estrictas. La caña también se emplea como abono, alimento animal o bien para la fabricación de papel. El municipio de Eldorado enfrenta desafíos y oportunidades para transformar la bioeconomía del cultivo de caña en la utilización de otros productos, no solo para la industria azucarera.

Materiales y métodos

Se utilizó la variedad de caña de azúcar CP 72-2086, obtenida del campo ejido El Higueral, de la parcela del ciudadano Guillermo Aguilar, y se trasladaron al laboratorio. Las varas de cañas se seleccionaron, limpiaron y lavaron; se removieron tallos, hojas, suciedad, polvo, piedras. Se analizaron para su uso en la obtención de jugo de caña, para asegurar la inocuidad y evitar el crecimiento de microorganismos patógenos. Posteriormente, se trituraron manualmente con un trapiche de acero inoxidable (Modelo GRT-SY300). El jugo se filtró a través de una malla de filtro y se registraron los rendimientos de jugo, la evaluación fisicoquímica y sensorial (Figura 1). Seguido de un envasado al vacío y almacenamiento a -20°C. Se llevó a cabo la medición de los grados °Brix del jugo de caña utilizando un refractómetro digital (Hanna HI 96801), por triplicado.

Figura 1. *Proceso de obtención del jugo de caña.*



Se realizó la formulación de la bebida "Wuara", se establecieron las condiciones de proceso y vida útil. Así como el análisis microbiológico, nutrimental, sensorial y de viabilidad económica de la bebida "Wuara". Se emplearon los medios de cultivo: ABRV para coliformes totales, TCBS para *Vibrio* spp., XLT4 para *Salmonella*, *E. coli* y Agar Método Estándar para la identificación de mesófilos aerobios y PDA para hongos y levaduras.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos muestran un rendimiento del jugo de caña de 43,80 %, con un contenido de 22.8°Brix y un pH de 5,33 % (Tabla 1). El jugo de caña contiene entre 15 y 20 % de sólidos totales, de los cuales alrededor del 80 % son azúcares solubles, principalmente sacarosa, por lo que es una fuente energética (Solís-Fuentes et al., 2010).

Tabla 1. *Rendimiento del jugo de caña.*

Determinación	Medición en unidades
Peso en kg de jugo de caña	2.24 kg ± 1.41
% rendimiento del jugo de caña	43.807% ± 3.119
Bagazo de jugo de caña	56.192% ± 2.929
pH del jugo de caña	5.337 ± 0.151
Temperatura °C del jugo de caña	20.333 °c ± 0.321

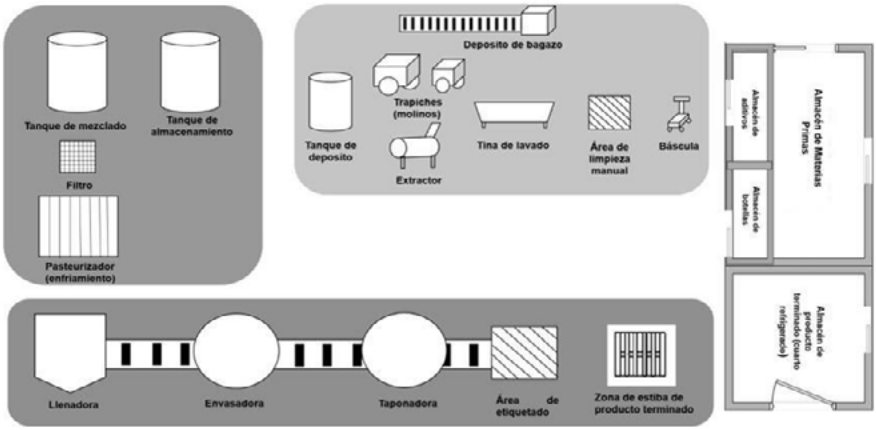
Tabla 2. *Declaración nutrimental de la bebida Wuara.*

Declaración nutrimental	Por 100 g
Contenido energético **Contenido total del envase**	**70 kcal (290 kJ)** **350 kcal (1450 kJ)**
Proteínas	0.0 g
Grasas totales **Grasas saturadas** **Grasas trans**	0.0 g **0.0 g** **0.0 mg**
Hidratos de carbono disponibles Azúcares **Azúcares añadidos**	17.0 g 17.0 g **0.0 g**
Fibra dietética	1.0 g
Sodio	**10.0 mg**

Porcentaje de humedad = 82.0 y Cenizas = 0.2 de la muestra.
Porciento de Grasa= 0.2 y Proteína=0.3.
Etiqueta elaborada en apego a la según NOM-051-SCFI/SSA1-2010.
MODIFICADA. pH 2.5.

La bebida Wuara cumple con la normatividad vigente: etiquetado, BPM, especificaciones sanitarias, seguridad e higiene. En los análisis microbiológicos, no se detectaron coliformes totales, ni fecales, ni Salmonella en la bebida formulada. La fermentación del jugo comienza en cuanto se extrae de la caña, lo que produce cambios organolépticos (sabor desagradable, color amarillento, olores extraños, entre otros). Debido a los azúcares, se hace susceptible a sufrir alteraciones físicas y químicas ocasionadas por levaduras (Singh et al., 2016).

Figura 2. *Distribución del equipo en área de producción del proceso de la bebida Wuara.*



En México, las bebidas utilizando caña incluyen la charanda (Michoacán), ron, tepache y el jugo de caña como bebida tradicional. En el mercado existen bebidas de jugo de caña como: Goya y Sugarcane (E.U.); jugo de caña del torito (Puerto Rico); Wakua, Guayusa y Kuler (Ecuador); Second Nature (India) y Biocana (Brasil). La región de Eldorado es un valle fértil para el cultivo de caña; esto podría generar recursos que promuevan valor económico de manera sostenible.

Conclusiones

El diseño del proceso permite elaborar una bebida "Wuara" de buenas características de aceptabilidad, organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas. Cumple con la normatividad vigente si se compara con el jugo sin tratamiento, lo que le permite que sea apta para consumo humano. El pH de la bebida es 2.5; es un pH ácido, encontrándose dentro del rango normal para jugos según la norma.

Referencias

Aguiar, S., Estrella, M. E., y Cabadiana, H. U. (2022). *Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y aprovechamiento.* AXIOMA. Revista Científica de Investigación, Docencia y Proyección Social, 1(27), 5–11.

Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. (2025, 7 de abril). C*omité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar*. Gobierno de México.

De la Torre López, L., Cortés, M. E. T., yamp; Espino, X. M. (2021). *Desarrollo sustentable y aprovechamiento del Residuo de la Caña de Azúcar*. Revista Multidisciplinaria de Avances de investigación, 7(1), 12-26.

Salgado García, S., Lagunes Espinoza, L. del C., Núñez Escobar, R., Ortiz García, C. F., Bucio-Alanis, L., y Aranda-Ibañez, E. (2013). Caña de azúcar: Producción sustentable. Colegio de Postgraduados; Mundi Prensa.

Murjani, B. O., Suryavanshi, A. A., Dhembare, S. B., Patil, I. P., Patil, P. T., Sonawane, H. P., y Pandit, A. B. (2023). *Approaches y technologies for preservation of sugarcane juice: A review*. Journal of Food Engineering y Technology, 12(2), 35-47.

Singh, S., Gaikwad, K. K., Omre, P. K., y Lee, Y. S. (2016). *Process development for stabilization of sugarcane juice using response surface methodology*. Journal of Food Measurement and Characterization, 10(4), 727–737.

Capítulo **104**

Valoración de la aplicación de inteligencia artificial en sembradoras como estrategia para modernizar la agricultura mexicana

Ramírez Vázquez Jessica[1]
Oyorzabal Marquez Oneyda[2]
Rojas Sandoval Leticia[2]
Ayala Gary Oscar Javier[2]

1 Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. ramirez.jessica@colpos.mx.
2 Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Texcoco, México.

Resumen

El estudio examina a nivel nacional la evolución e incorporación de la inteligencia artificial (IA) en las sembradoras. El objetivo es identificar el estado actual de las tecnologías de siembra mediante un análisis FODA, que permita evaluar su impacto operacional y la integración de algoritmos de IA. Mediante una revisión sistemática con la utilización de la metodología de Kitchenham (2004) y considerando las fuentes científicas del 2014 a la fecha. Los resultados revelan una diversidad de sembradoras: manuales, mecánicas, neumáticas y robots sembradores, que maximizan la precisión y la eficiencia de la siembra. En fortalezas destacan la amplia gama de tecnología y la eficiencia operativa; las debilidades incluyen los altos costos y la limitada capacitación técnica. La incorporación de la IA ofrece oportunidades en la agricultura de precisión y el desarrollo tecnológico nacional. Sin embargo, persisten desafíos como la dependencia tecnológica y la desigualdad en el acceso. Se concluye que la integración de la IA en sembradoras puede modernizar la agricultura mexicana e impulsa una agricultura más sostenible y competitiva.

Introducción

El sector agrícola a nivel nacional es un sistema complejo. Como insumo trascendente está la mecanización agrícola, que impulsa el desarrollo económico mediante el incremento de rendimiento por hectárea y la expansión de superficie cultivada (Negrete, 2020). Las sembradoras marcan el inicio del ciclo productivo. En México, durante décadas, la siembra manual, particularmente de maíz, se desarrolló con herramientas sencillas como azadones, espeques o palas; sin embargo, es deficiente el uso de insumos y la competencia entre plantas ocasiona la disminución de rendimientos (López y Van, 2018). Actualmente, esta técnica persiste en pequeñas parcelas que no alcanzan la autosuficiencia (Negrete, 2023). La urbanización, industrialización, modernización, reducción

de superficie agrícola y reducción de mano de obra son factores que afectan el sector agrícola; por el contrario, la tecnología mecánica (mecanización agrícola) ha incrementado la productividad agrícola con el uso de tecnología avanzada como inteligencia artificial (IA), la teledetección, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y la robótica (Hernández et al., 2022; Negrete, 2023; Santos y Kienzle, 2021). La emergencia de estas tecnologías da pauta para la innovación de sembradoras autónomas con mayor precisión, capaces de optimizar la densidad de siembra y su adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima. Ante este contexto, el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una herramienta de análisis metodológica estratégica que permite identificar todo el entorno referente al desarrollo de sembradoras en México, así como las estrategias a implementar ante la incorporación de la IA en sembradoras (López, 2025). El objetivo de este estudio consiste en identificar la situación actual de las tecnologías de siembra en el país mediante el análisis FODA como herramienta estratégica para modelar su impacto operacional con base en la integración de algoritmos de inteligencia artificial (IA).

Materiales y métodos

Se utilizó la metodología propuesta por Kitchenham (2004) para la búsqueda, en la que se determinaron los tesauros: sembradoras, análisis FODA, mecanización agrícola, inteligencia artificial. Se incluyeron documentos que integraran los tesauros en los títulos, resúmenes y metodología, publicados desde el 2014 a la fecha. La revisión bibliográfica se realizó digitalmente en plataformas de investigación y en bases de datos científicas disponibles en la web. Para el análisis y la sistematización de la información, se empleó la herramienta FODA para identificar el entorno externo de la tecnología de las sembradoras, con sus respectivas oportunidades y amenazas. De igual manera, se realizó un análisis interno por medio de las fortalezas y debilidades con la finalidad de generar un diagnóstico del entorno actual de las sembradoras.

Resultados

El mercado ofrece una amplia variedad de sembradoras, adaptadas a diversas escalas de producción y tipos de cultivo: sembradoras manuales y de tiro animal, sembradoras mecánicas, sembradoras neumáticas de precisión, sembradoras de siembra directa (cero labranza) y robots sembradores; estas últimas, aunque aún en fase de prueba y desarrollo en México (como los esfuerzos del CIMMYT), la robótica promete revolucionar la siembra, ofreciendo precisión y reducción de mano de obra (Santos y Kienzle, 2021). La mecanización agrícola ha incrementado la productividad, lo que disminuye el uso de energía mediante operaciones oportunas, el incremento de superficie de operación y la conservación de recursos naturales (Negrete, 2023).

Fortalezas: Existe una gran diversidad de sembradoras disponibles adaptadas a distintas necesidades de producción, cultivos y condiciones de terreno. La aceptación por los agricultores es la siguiente: de acuerdo con el Censo Agropecuario 2022 del INEGI, México cuenta con alrededor de 4,6 millones de Unidades de Producción Agropecuaria. Entre ellas, solo el 10,7 % reportó disponer de sembradoras o plantadoras propias, lo que refleja el nivel de mecanización en la siembra dentro del sector agrícola nacional (INEGI, 2022). Lo anterior se puede atribuir a la reducción de costos de operación y la homogenización de siembra (Santos y Kienzle, 2021). Por otro lado, Jin et al. (2021) enuncian la sustitución exitosa del sistema mecánico por un sistema mecatrónico, mediante el accionamiento de los dosificadores de la sembradora-fertilizadora a través del uso de software y hardware libre, como la incorporación de sensores y algoritmos de optimización en sembradoras de maíz que garantizan la homogeneidad de siembra con ventajas considerables, así como permitir realizar cambios de la dosis de aplicación en tiempo real y de manera continua (Torres et al., 2020).

Oportunidades: La maquinaria agrícola, entre la que se encuentran las sembradoras, son insumos en la producción agrícola. A nivel nacional se prevé que la oferta de tractores se conserve estable, considerando un promedio de 12 000 unidades ofrecidas y vendidas al año (Salas et al., 2024). Además, la creciente demanda global hacia la agricultura

de precisión abre un nicho para el desarrollo y la implementación de sembradoras inteligentes que incorporen el desarrollo de conjuntos de algoritmos de compensación y posicionamiento de siembra, con la finalidad de tener el control de la velocidad de siembra de cada unidad de siembra en tiempo real, con el objetivo de maximizar el rendimiento y minimizar el desperdicio (Sun et al., 2022). Además, instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) están trabajando en la adaptación y desarrollo de tecnologías de siembra, incluyendo la robótica, lo que puede generar soluciones específicas para el contexto mexicano (SADER, 2024). La IA permite que las sembradoras se vuelvan más eficaces. A través de sensores avanzados (incluidos los de drones), cámaras y algoritmos de aprendizaje automático, con ello las sembradoras podrían: analizar la variabilidad del suelo en tiempo real, identificar obstáculos, monitorear la calidad de siembra, así como emplear imágenes para ser analizadas y realizar una detección temprana de plagas o enfermedades y tener toma de decisiones basadas en datos, como ya lo mencionaba Esperbent (2016). Esta capacidad representa un salto cualitativo para la agricultura de precisión, que podría mejorar rendimientos y sostenibilidad.

Debilidades vs. Desafíos: Si bien México ha avanzado en la adopción de sembradoras mecánicas y neumáticas, su incorporación no ha sido equitativa ni generalizada, debido a factores como el alto precio de los equipos, la falta de financiamiento accesible, costos de mantenimiento y el limitado acceso a capacitación técnica (Salas et al., 2024; Torreones et al., 2020). Esto resalta la necesidad de políticas públicas que faciliten el financiamiento, la capacitación y el acceso a maquinaria compartida. Asimismo, la complejidad de estos sistemas, la falta de capacitación, limita la transferencia de tecnología y el uso eficiente de la maquinaria, ya que el 75,2 % de usuarios que cuentan con maquinaria agrícola no recibieron formación al adquirir los equipos nuevos. (Cabrera et al., 2024; Sánchez et al., 2014). Por otro lado, se debe considerar que en zonas rurales hay limitación en el acceso de refacciones, soporte técnico y distribución; en tanto que el avance tecnológico puede hacer obsoletos equipos que aún podrían ser útiles, tal como lo menciona Hernández et

al. (2022). A nivel nacional, el 46 % de tractores se adquirieron del periodo 2007-2017; cada unidad cuenta con un promedio de 20 años, por tanto, se han convertido en un parque de maquinaria agrícola obsoleto.

Amenazas: México no cuenta con seguridad ni regulación de la información recopilada por los sistemas agrícolas que emplean IA, tales como la producción de imágenes, el registro de parámetros agronómicos, el estado fenológico del cultivo, la presencia de plagas y los patógenos, toda esta información en tiempo real (Van et al., 2024). Este aspecto es crucial, ya que no existe una normativa específica que rija la propiedad y el control de estos datos, lo que plantea incertidumbre y riesgos. Muchas sembradoras con IA son importadas y generan dependencia extranjera (Negrete, 2023). Además, la burocracia, el desconocimiento sobre financiamiento y los cambios en prioridades gubernamentales limitan la inversión en innovación tecnológica agrícola; tal como mencionan Salas et al. (2024), el gobierno federal debe establecer una industria nacional con la tecnología de vanguardia que promueva el desarrollo de tractores para pequeños productores. La persistencia de una amplia brecha entre agricultores tecnificados y los tradicionales puede exacerbar las desigualdades en el sector agrícola, en vista de la resistencia a la adopción de nuevas tecnologías por parte de agricultores tradicionales. Asimismo, la automatización puede afectar empleos tradicionales si no se acompaña de reconversión laboral. La disminución en la productividad determinada por el aumento en costos operativos y la escasez de fertilizantes influyen en el ingreso agrícola y este último es uno de los factores clave en la demanda de tractores (Salas et al., 2024). Además, fenómenos climáticos extremos (sequías, inundaciones y heladas) pueden afectar la ventana de siembra y la efectividad de las sembradoras, lo que requiere una mayor adaptabilidad (Ponce et al., 2022).

Conclusiones

El análisis FODA ha demostrado que las sembradoras a nivel nacional tienen una importancia potencial en la modernización con la incorporación de la inteligencia artificial. No obstante, aún persisten desafíos en cuanto a infraestructura, capacitación y accesibilidad tecnológica en el sector

agrícola. La IA tiene el potencial de revolucionar, optimizando el uso de recursos y haciendo la agricultura más sostenible y resiliente a los desafíos actuales como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la competitividad internacional. Sin embargo, para que esta promesa se convierta en una realidad para la mayoría de los agricultores mexicanos, es indispensable superar barreras económicas, tecnológicas y de conocimiento mediante un esfuerzo concertado de políticas públicas, inversión privada y programas de capacitación.

Referencias

Cabrera-Verdesoto, C. A., Salvatierra-Pilozo, D. M., y Navarro-Saltos, G. E. (2024). *Tendencias en la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión mediante una revisión sistemática.* Innova Science Journal, 2(3).

Esperbent, C. (2016). *Robots: la próxima revolución del campo: En un futuro cercano, la incorporación de la inteligencia artificial a lo agropecuario permitirá tomar mejores decisiones y optimizar aún más las prácticas agrícolas.* RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 42(1), 8–13.

Hernández-Ávila, J., Salas-Rodríguez, F., Díaz-Viquez, A., González-Huerta, A. y Serrato-Cuevas, R. (2022). *Evaluación el nivel de mecanización tecno-agrícola en seis municipios del valle de Toluca.* Revista mexicana ciencias agrícolas, 13(3), 421-432. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2780

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). *Censo Agropecuario (CA) 2022*. Blog del INEGI. https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/#Tabulados

Jin, J.,Sang, Y., He, Z. y Jin, X. y Wang, S. (2021). *Designing an intelligent monitoring system for corn seeding by machine visión y Genetic Algorithm-optimized back propagation algorithm under precisión positioning.* Plos One 16(7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254544

Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews* [Technical report]. Keele. University. https://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf

López-Gómez, J. A., y Van-Loon, J. (2018). *Evaluación agrotécnica de implementos manuales para la siembra de maíz*. Revista Mexicana de Ciencias Agricolas, 21, 4258-4269. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1524

López-Morales, J. (2025). *El análisis FODA como herramienta estratégica en la educación: una revisión sistemática.* Huella Científica, 2(2), 99-118. https://huellacientifica.villahermosa.tecnm.mx/huella_cientifica/article/view/32

Negrete, J. C. (2020). *Analysis of the current situation of two wheels tractors in Mexico.* Hoticulture international journal. 4(1): 28-33. https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00152

Negrete, J. C. (2023). Trends y perspectives of mechanization y agricultural machinery in Mexico for the 21st century. Journal of Agricultural y Crop Science, 2,01-07. Doi: 10.31872/2019/JACS-100105

Ponce, A. M., Murray, G. N., Ixchel, T., Hernández, M., Carol, O., y Rodríguez, H. (2022). *Agricultura y cambio climático.* https://www.pincc.unam.mx/wp-content/uploads/2025/01/agricultura-cambio-climatico-mexico.pdf

Salas-Gutiérrez, J. C., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A y Garduño-García, A. (2024). *Factors that impact the market of agricultural tractors in Mexico.* Agro Productividad. 17(9),11-19. https://doi.org/10.32854/agrop.v17i9.2709

Sánchez-Hernández, M. A., Ayala-Garay, A. V., Cervantes-Osornio, R., Garay-Hernández, M., De la O-Olán, M., Martínez-Trejo, G., y Velázquez-López, N. (2014). *Diagnóstico de la maquinaria agrícola en Amecameca y Texcoco, Estado de México.* Agricultura, sociedad y desarrollo, 11(4), 499–516.

Santos-Valle, S. y Kienzle, J. (2021). *Agricultura 4.0: Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible.* Gestión integrada de cultivos. N. 24, Roma, FAO.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Emplea Agricultura robots 'a todo terreno' para automatizar los procesos de siembra.* Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/emplea-agricultura-robots-a-todo-terreno-para-automatizar-los-procesos-de-siembra

Sun, J., Zhang, Y., Zhang, Y., Li, P. y Guifa, T. (2022). *Precision seeding compensation y positioning based on multisensors.* Sensors. 22(19). https://doi.org/10.3390/s22197228

Terrones-Cordero, A., Martínez-Damián, M. A., y Sánchez-Torres, Y. (2020). *Análisis dual del comportamiento del sector primario en México 1980-*

2020. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 11(5), 1179–1187. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.1819

Torres-Sandoval, J., Romantchik-Kriuchkova, E., López-Cruz, I. L., López-Canteñs, G. de J., y O-Olán, M. de la. (2020). *Pruebas de una sembradora-fertilizadora con un sistema mecatrónico adaptado para el control de los dosificadores*. Revista fitotecnia mexicana, 43(4a), 533–541. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4-a.533

Van Loon, J., Martínez Pérez , G., Patiño Espejel, J. E ., y López Gómez , J. A . (2024). *Guía para la Mecanización Agrícola Sostenible: Maquinaria a la Medida y climáticamente inteligente*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco de Mora, México.

Capítulo **105**

Caracterización de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. P.) de Morelos, México

Pacheco Quintero Antonio[1]
Pacheco Olvera Antonio[1]
Hernández Verdugo Sergio[1]
Osuna Rodríguez José Manuel[1]

[1] Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. anthonkb24@gmail.com.

Resumen

Con la finalidad de aportar información sobre la diversidad fenotípica de poblaciones locales de Chile, se planteó el objetivo de evaluar la variación fenotípica en planta y fruto de seis poblaciones de chiles manzano criollo del estado de Morelos, México, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, en condiciones de invernadero. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía, así como una comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer (α, 0.05). Se analizaron 14 variables en las cuales se determinaron diferencias no significativas entre poblaciones en las variables altura de planta; largo, ancho y grosor de hoja y área foliar, mientras que en el resto de las variables se encontraron diferencias significativas, sobre todo en las variables de fruto. En este sentido, las poblaciones Cebeta y Xochicalco 1 fueron las que presentaron los frutos más pesados y más anchos (14.1, 33.7 g y 33.7, 32.6 mm), mientras que la población Xochicalco 2 fue la población con los frutos más livianos y con menor anchura (8.7 g, 28.0 mm). En relación al número de lóculos, la población Xochiclaco 1 presentó el mayor número con un promedio de 2.57, mientras que la población Tlalcomulco presentó el menor número (2.12). Los resultados de esta investigación coinciden con los obtenidos por Leyva-Ovalle et al. (2018), al igual que con los obtenidos por Escalera-Ortiz et al. (2019). Ambos trabajos se realizaron por separado en Chile, Manzano, de los estados de Veracruz y Michoacán, México, donde encontraron alta variabilidad morfológica en las variables evaluadas, entre las que se encuentran las características de fruto.

Introducción

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R. P.) es una especie originaria de partes altas de Perú y Bolivia que se introdujo a México a principios del siglo XX. Con el crecimiento de su demanda de chile manzano en Los Ángeles, California, así como en los mercados nacionales, se requiere incrementar

la cantidad y calidad de este producto. Por lo cual, se comienzan a llevar a cabo estudios tendientes a evaluar su diversidad morfológica. Leyva-Ovalle et al. (2018) realizaron un estudio donde caracterizaron *in situ* 22 poblaciones de *C. pubescens* en el centro del estado de Veracruz, donde encontraron que las poblaciones estudiadas presentan una amplia variación morfológica inter e intrapoblacional y que se muestra el potencial del germoplasma. Por su parte, Escalera-Ordaz et al. (2019) caracterizaron 31 poblaciones de *C. pubescens* de Michoacán, México, mediante 27 variables de fruto, hoja y semilla; sus resultados indican amplia variabilidad en las variables evaluadas, donde las características de fruto fueron identificadas como las más importantes para discriminar las variedades. Esta especie se cultiva principalmente bajo temporal en huertos familiares en altitudes que van de los 1700 msnm a los 2400 msnm (Pérez y Castro 1998). La producción de chile manzano en invernadero en nuestro país no rebasa las diez hectáreas; sin embargo, el empleo de esta técnica ha sido adaptado por más productores, ya que se caracteriza por el uso de malla-sombra, sustratos inertes, solución nutritiva, riego por goteo, podas y control de plagas y enfermedades. Todo esto es con la finalidad de dar las mejores condiciones al cultivo para obtener la mayor calidad y rendimiento, para así satisfacer la demanda de un mercado creciente. Sin embargo, aún hay escasos estudios de caracterización morfológica en este tipo de chile. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar morfológicamente los caracteres vegetativos y reproductivos en poblaciones criollas de chile manzano del estado de Morelos, México.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, construido con plástico lechoso en el techo y malla blanca antiáfidos en los laterales; adicionalmente, se colocó malla sombra tipo rachel con sombreo al 50 % en la parte superior de las plantas. La siembra de semilla de C. pubescens se realizó el 12 de septiembre de 2022 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, en sustrato comercial de materia orgánica de musgos naturales de turberas conocido como peat moss, y su trasplante se realizó el 12 de diciembre de 2022 en bolsas de poliestireno negro de 30 cm de altura x 30 cm de anchura, utilizando tierra de

aluvión como sustrato. Los riegos se realizaron mediante el sistema de riego por goteo, incorporando en el sistema la solución nutritiva para chile manzano propuesta por Pérez y Castro (2008). Los tratamientos utilizados en la investigación consistieron en ocho poblaciones de chile manzano colectadas en el estado de Morelos, México. Estas fueron distribuidas mediante un diseño de bloques al azar con tres repeticiones; se usaron nueve macetas por población, con tres macetas por repetición, con una separación entre macetas de 50 cm y una planta por maceta, en camas de 160 cm de separación colocadas a doble hilera, respectivamente. Se evaluaron 14 variables morfológicas en nueve plantas y 27 frutos por población. Las variables evaluadas en la planta fueron: altura (cm), diámetro de tallo (mm) y altura a la primera bifurcación (cm). En las hojas se midieron el largo (cm), el ancho (cm), el grosor (mm) y el área foliar (cm^2). Además, se registró el número de días a la primera floración. En los frutos se evaluaron el peso (g), el largo (mm), el ancho (mm), el grosor de la pared del fruto (mm), la longitud del pedúnculo (mm) y el número de lóculos. Los datos morfológicos de las variables medidas se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía para cada variable y, donde hubo diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación de medias por el método de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$). Todos los análisis se efectuaron con el paquete estadístico JMP (SAS, 1995).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que, con excepción de altura de planta, largo de hoja, ancho de hoja, grosor de hoja y área foliar, se encontraron diferencias significativas en todas las variables estudiadas. Las diferencias no significativas se presentaron principalmente en las características de hoja, mientras que en las características de fruto, que son las de mayor importancia económica, sí se presentaron diferencias significativas. Por ejemplo, las poblaciones Cebeta y Xochicalco 1 fueron las que presentaron los frutos más pesados y más anchos (14.1 g, 33.7 g y 33.7 y 32.6 mm), mientras que la población Xochicalco 2 fue la población con los frutos más livianos y con menor anchura (8.7 g, 28.0 mm). En relación al número de lóculos, la población Xochiclaco 1 presentó el mayor número de lóculos con un promedio de 2.57, mientras que la población Tlalcomulco presentó el menor número de lóculos con un promedio de 2.12. Los resultados obtenidos en esta

investigación coinciden con los reportados por Leyva-Ovalle et al. (2018) y Escalera-Ordaz et al. (2019), quienes evaluaron poblaciones de chile manzano colectadas en los estados de Veracruz y Michoacán, México. En dichos estudios se documentó una alta variabilidad morfológica en las variables evaluadas, particularmente en las características del fruto, hallazgo que se confirma en el presente trabajo al observar una marcada diversidad en los frutos de las poblaciones del estado de Morelos.

Cuadro 1. *Promedios y comparación de medias de las variables evaluadas en las ocho poblaciones de chile manzano del estado de Morelos, México.*

Población	Apt (cm)	Dta (mm)	Arf (cm^2)	Dfl	Pfr	Lfr	Afr	Nloc
Alpanocan	181.9 a	10.4 d	53.14 a	203.0 ab	10.4 ab	28.6 ab	29.7 ab	2.21 ab
Cebeta	178.0 a	12.4 ab	67.61 a	214.4 a	14.1 a	28.0 ab	33.7 a	2.50 ab
Jumiltepec	177.0 a	11.1 bcd	62.40 a	203.3 ab	10.7 ab	30.1 ab	30.5 ab	2.33 ab
Potrero	167.2 a	12.8 a	66.39 a	208.5 ab	9.00 ab	28.1 ab	29.1 ab	2.13 ab
Santacruz	176.0 a	10.6 d	52.23 a	198.9 b	10.7 ab	26.3 b	29.3 ab	2.50 ab
Tlalcomulco	183.7 a	10.8 cd	50.00 a	198.4 b	9.80 ab	29.7 ab	29.9 ab	2.12 b
Xochicalco1	172.0 a	12.1 abc	63.42 a	209.1 ab	12.1 a	28.5 ab	32.6 a	2.57 a
Xochicalco2	173.6 a	10.9 bcd	47.62 a	196.3 b	8.70 b	30.6 a	28.0 b	2.32 ab
F	0.9208	7.6608	2.0962	4.4617	3.1714	1.9867	2.1960	2.7948
P	0.4965	0.0001	0.0454	0.0004	0.0032	0.0578	0.0355	0.0083

Apl=altura de planta; Dta= Diámetro de tallo; Arf= Área foliar; Dfl= Días a floración; Pfr= Peso de fruto; Lfr=Longitud de fruto;
Afr= Ancho de fruto; Nloc=Número de lóculos.
Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey, $p<0,05$).

Conclusiones

Las poblaciones de chile manzano de Morelos, México, se diferenciaron principalmente en las características del fruto. La población Cebeta fue la que se comportó más tardía, con el mayor peso de fruto y con los frutos de mayor anchura. Las poblaciones Cebeta y Xochicalco 1 presentaron los frutos más pesados y de mayor anchura. En nueve de las catorce variables se obtuvieron coeficientes de variación (CV) arriba del 20 %, a lo que Nooryadan et al. (2010) y Lewu et al. (2009) interpretan como la presencia de una amplia variación.

Referencias

Escalera-Ordaz A. K., Guillén-Andrade H., Lara-Chávez M. B. N., Lemus-Flores C., Rodríguez-Carpena J. G., y Valdivia-Bernal R. (2019). *Caracterización de variedades cultivadas de Capsicum pubescens en Michoacán, México.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 23: 239-251. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2024

Leyva-Ovalle O.R., Andrés-Meza P., Del valle-Hernández D., Meneses-Márquez L., Murguía-González J, Galindo-Tovar M.E., López-Sánchez H., Serna-Lagunes R., Del Rosario-Arellano L., Lee-Espinoza H.E., Sierra-Macias M. y Espinoza-Calderón A. (2018). *Morphological characterization of manzano hot pepper (Capsicum pubescens Ruiz y Pav.) landraces in the central region of Veracruz state, México.* Revista Bio Ciencias 5, 1-11. https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/388/642#toc

Lewu F. B., Grierson D. S. y Afoloyan A.J. (2007). *Morphological diversity among accessions of Pelargonium sidoidesDC. In the Eastern Cape, South Africa.* Genetic Resources y Crop Evolution, 54, 1-6. https://doi.org/10.1007/s10722-006-9000-0

Loaiza-Figueroa F., Ritland K., Cancino J. A. L. y Tanksley S. D. (1989). *Patterns of genetic variation of the genusCapsicum (Solanaceae) in Mexico.* Plant Systematics y Evolution, 165(3-4), 159-188. https://doi.org/10.1007/bf00936000|

Nei, M. (1972). *Genetic Distance between Populations.* The American Naturalist, 106(949), 283-292. https://doi.org/10.1086/282771

Nooryazdan H.; H. Serieys Baciliéri R. y David J. (2010). *Structure of wild annual sunflower (Heliantuhus annus L.) accesions based on agromorphological traits.* Genetic. Resource and. Crop Evolution, 57, 27-39. DOI: 10.1007/s10722-009-9448-9

Pérez G., M. y R. Castro B. (1998). *Guía técnica para la producción intensiva de chile manzano.* Boletín de Divulgación Núm. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura. Departamento de Fitotécnia. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 17 p.

Pickersgill B., Heiser C. y McNeill J. (1979). *Numerical taxonomic studies on variation y domestication in some species of capsicum.* Linnean Society Sympo-

sium Series, No.7. Academic Press, New York. https://worldveg.tind.io/record/16909

Zeven, A. (1998). *A review of definitions y classifications.* Euphytica,104(2), 127-139. https://doi.org/10.1023/a:1018683119237

Capítulo **106**

Influencia de la fertilización química y orgánica en la calidad de frutos de toronja variedad "Rio red"

Rojas Pérez Héctor[1*]
Zazueta Torres Norma D. [1]
Mejía Delgadillo Mario Alejandro[2]
Colón Sandoval Alejandra[3]
Luna Maldonado Alejandro I.[4]
Román Román Leonardo[1]
Sanhouse García Antonio Jesús[5]
Contreras Salazar Ernesto[5]
Martínez López Fabián[1]
Félix Ceballos José Ignacio[1]

[1] Tecnológico Nacional de México/ ITS Eldorado, Av. Tecnológico S/N Col. Rubén Jaramillo, CP. 80450. Eldorado, Culiacán Rosales Sinaloa., México. * hector.rp@elsdorado.tecnm.mx.

[2] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado Km 17.5, 80000, Culiacán Rosales Sinaloa.

[3] Centro de Investigación en Alimentación y desarrollo, A.C. Nutraceutical y Functional Foods. Carretera Eldorado Km 5.5, Col. Campo el Diez, Culiacán Sinaloa. C.P. 80110, México.

[4] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de agronomía, Ex Hacienda el Canadá, C. P. 66050 Gral. Escobedo Nuevo León, México.

[5] Tecnológico Nacional de México/ IT de Culiacán, Juan de dios Bátiz No. 310 Pte., Col. Guadalupe, C.P. 80220 Culiacán Rosales, Sinaloa, México..

Resumen

El experimento se llevó a cabo en una huerta de toronja (Citrus paradisi Macf) cuya variedad fue "Rio Red" sobre patrón agrio, ubicada en la hacienda "Las Anácuas" del municipio de General Terán, Nuevo León, México. El objetivo del estudio fue analizar la influencia de la fertilización química y orgánica en la calidad de frutos de toronja variedad Rio Red. Los tratamientos fueron: T1: 00-00-00 (testigo), T2: 100-00-00 (N-P-K), T3: 160-80-95, T4: 200-80-95, T5: 250-120-140, T6: 5 t ha-1 de gallinaza + 70-00-00 y T7: 10 t ha^{-1} de gallinaza + 35-00-00. Se observó un incremento en el diámetro de fruto y peso de jugo al aplicar fertilizante orgánico más fertilizante químico (10 t ha^{-1} de gallinaza + 35-00-00). El mayor porcentaje de jugo se obtuvo con fertilizante químico (160-80-95) y 5 t ha^{-1} de gallinaza + 70-00-00. Con respecto al espesor del mesocarpio del fruto y la calidad del jugo (°Brix y relación °Brix-acidez^{-1}), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Introducción

La toronja (*Citrus paradisi* Macf) es un árbol que produce una fruta con alto contenido de vitamina A y C. Tiene una gran demanda como fruta para consumo fresco y procesado en mermeladas, gajos o en jugos, tanto naturales como concentrados. El uso intensivo de fertilizantes sintéticos puede provocar una disminución en la materia orgánica del suelo, reducción en la biodiversidad microbiana, mayor compactación del suelo, afectando negativamente la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua (Hussein et al., 2024). En cultivos perennes como la vid y el maracuyá, se ha observado que la combinación de fertilizantes orgánicos con aplicaciones controladas de fertilizantes minerales puede optimizar la absorción de nutrientes sin comprometer la calidad de los frutos (Polo-Murcia et al., 2025). Un estudio con mandarinas Kinnow mostró que la aplicación de fertilizantes orgánicos junto con

fertilizantes minerales aumentó el rendimiento en comparación con el uso exclusivo de fertilizantes sintéticos (Djoko Kouam et al., 2024; Martínez et al., 2012). La fertilización combinada (orgánica + química) supera en rendimiento a la fertilización convencional en un 5,7 % a 10,0 %, dependiendo del cultivo. Evidenciando que la combinación de fertilizantes sintéticos y orgánicos permite un equilibrio entre la rápida absorción de nutrientes y la mejora en la estructura del suelo (Zhang et al., 2023). Estudios han demostrado que, en cultivos de cítricos, la aplicación de fertilización orgánica mejora la eficiencia en la absorción de nitrógeno y fósforo debido al incremento de la actividad microbiana en el suelo (Cabot et al., 2023). La eficiencia en la absorción de nutrientes es significativamente mayor en sistemas de fertilización combinada, con incrementos de hasta 46,5 % en la absorción de fósforo y 40,3 % en la de nitrógeno, en comparación con la fertilización convencional (Hussein et al., 2024; Kouam et al., 2024). El objetivo de la presente investigación fue analizar la influencia de la fertilización química y orgánica en la calidad de frutos de toronja variedad Rio Red bajo las condiciones de suelo y clima de la zona citrícola del estado de Nuevo León, México.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en una huerta de toronja de la variedad "Rio Red" a una densidad de 250 árboles por hectárea, ubicada en la Hacienda "Las Anácuas" del municipio de General Terán, Nuevo León, México. La precipitación media anual en la región es de 550 mm y la temperatura media anual es de 23°C, con temperaturas máximas que llegan a 45°C durante el verano y mínimas por debajo de los -7°C durante el invierno, con lluvias fuertes en agosto, septiembre y octubre. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con 7 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos consistieron en T1: 00-00-00 (testigo), T2: 100-00-00 (N-P-K), T3: 160-80-95, T4: 200-80-95, T5: 250-120-140, T6: 5 t ha^{-1} de gallinaza + 70-00-00, T7: 10 t ha^{-1} de gallinaza + 35-00-00. La unidad experimental fue de dos árboles, para 10 muestreos de frutos. Las fuentes de fertilizantes químicos fueron: urea (46-00-00), fosfato monoamónico (11-52-00) y cloruro de potasio (00-00-60). La fuente de fertilizante orgánico fue la gallinaza tratada con calor a temperaturas de 70 a 90°C por 20 min; el contenido de los nutrimentos fue: 2,92 % de N, 1,55 % de P, 2,1 % de K

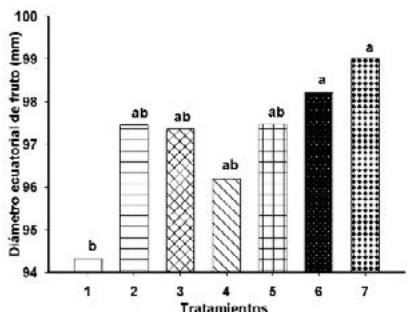
y 52 % de materia orgánica. Los tratamientos se aplicaron manualmente y se incorporaron con la rastra. Las variables que se evaluaron incluyeron: diámetro, el espesor del mesocarpio del fruto, el porcentaje de jugo y el peso de jugo, °Brix del jugo y la relación °Brix/Acidez-1. El porcentaje de jugo se obtuvo en base al peso de fruto y peso de jugo y con los valores de sólidos solubles y acidez se obtuvo la relación °Brix/Acidez-1, parámetro que define la palatabilidad de la fruta. Para medir las variables en estudio, se tomaron tres frutos por unidad experimental cada mes a partir de mayo del 2010 a abril del 2011. Para el análisis estadístico, se empleó un análisis de varianza y comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0.05$). Para las variables analizadas, se utilizó el programa de diseños experimentales de la FAUANL, versión 1.0 (Olivares, 2012).

Resultados y discusión

Diámetro de fruto

Los frutos de mayor tamaño (Figura 1) se obtuvieron con los tratamientos T7 y T6 (10 t ha^{-1} de gallinaza + 35-00-00 y 5 t ha^{-1} de gallinaza + 70-00-00, respectivamente). Esto respalda lo reportado por Hussein et al. (2024) y Kouam et al. (2024), donde mencionan que la integración de fertilizantes orgánicos con sintéticos optimiza la biodisponibilidad de nutrientes en el suelo y mejora la eficiencia metabólica de las plantas, favoreciendo un crecimiento más balanceado y una mayor resiliencia a condiciones de estrés hídrico y nutricional..

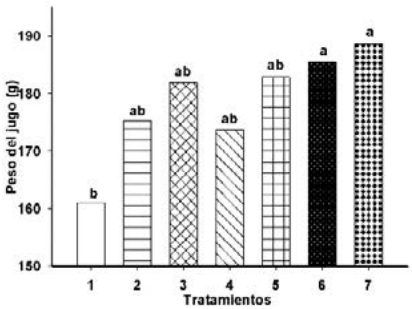
Figura 1. *Comparación de medias (Tukey p ≤ 0.05*) de diámetro ecuatorial de fruto (mm), ciclo 2010-2011. CV=1.60 %. (*)= Significativo. Letras iguales son estadísticamente similares.*



Peso del jugo

Los frutos con mayor peso de jugo (189 g y 185 g, Figura 2) se obtuvieron con los T7 y T6 (10 t ha^{-1} de gallinaza + 35-00-00 y 5 t ha^{-1} de gallinaza + 70-00-00, respectivamente). Esto confirma lo reportado por Djoko Kouam et al. (2024) en mandarinas Kinnow y Martínez et al. (2012) en toronja con la aplicación de fertilizante orgánico junto con fertilizantes minerales, lo que aumenta el peso de jugo y el rendimiento en comparación con el uso exclusivo de fertilizantes sintéticos.

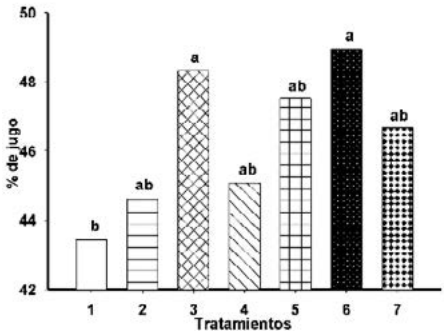
Figura 2. *Comparación de medias (Tukey p ≤ 0.05*) peso del jugo (g) ciclo 2010-2011. C.V= 5.28 %. (*) = Significativo. Letras iguales son estadísticamente similares.*



Porcentaje de jugo

El T6 y T3 fueron estadísticamente similares, presentando los valores más altos en porcentaje de jugo (Figura 3). Los tratamientos cumplieron con la Norma NMX-FF-039-1995-SCFI (contenido de jugo mínimo 45 %), lo que confirma lo reportado por Martínez et al. (2012) y Zhang et al. (2023), donde se menciona que las aplicaciones de fertilizantes químicos y orgánicos incrementan el porcentaje de jugo y el peso de fruto.

Figura 3. *Comparación de medias (Tukey p ≤ 0.05*) porcentaje de jugo ciclo 2010-2011. C.V= 4.18 %. (*) = Significativo. Letras iguales son estadísticamente similares.*



Mesocarpio del fruto, °Brix y la relación °Brix Acidez-1 del jugo

En las variables espesor de mesocarpio del fruto, °Brix y la relación °Brix-acidez-1 del jugo, no se presentaron diferencias significativas (NS).

Conclusiones

Para incrementar el diámetro de fruto y el peso de jugo, se recomienda la aplicación de 10 t ha^{-1} de gallinaza en combinación con el fertilizante químico (35-00-00). El porcentaje más elevado de jugo se obtuvo tanto con la aplicación 5 t ha^{-1} de gallinaza + 70-00-00 como con la fertilización química 160-80-95. Además, las dosis de los fertilizantes químicos y orgánicos no presentaron diferencia significativa en las variables espesor de mesocarpio del fruto y calidad del jugo (°Brix y la relación °Brix/$Acidez^{-1}$).

Referencias

Cabot, M. I., Lado, J. y Sanjuán, N. (2023). M*ulti-sea son environmental life cycle assessment of lemons: A case study in south Uruguay.* Journal of Environmental Management, 326. https://doi.org/10.1016/j.jen vman.2022.116719

Djoko Kouam, I., Moungang, S., Koulagna, H. I., Ntsoli, G. P., Titti, R. W. y Yaouba, A. (2024). *Influence of organic y mineral fertilizers y a foliar biostimu-*

lant on the yield y nutritional quality of strawberries. Biochemi cal Systematics y Ecology, 117. https://doi. org/10.1016/j.bse.2024.104917

Hussein, A. S., Abeed, A. H. A., Usman, A. R. A., y Abou Zaid, E. A. A. (2024). *Conventional vs. nano-micronu trients as foliar fertilization for enhancing the quality y nutritional status of pomegranate fruits.* Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 23(1), 112-122. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.09.008

Martínez de la C, J., H. Rojas P., A. Gutiérrez D., E. Olivares S., y J. Aranda R. (2012). *Effect of organic y synthetic fertilization in grapefruit (Citrus paradasi Macf.) yield y juice quality.* Journal of Horticulture y Forestry. 4(3), 61-64. https://academicjournals.org/article/article1379498889_de %20la %20Cerda %20et %20al.pdf

Olivares, S.E. (2012). *Diseño de experimentos FAUANL.* Versión 1.0. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Polo-Murcia, S. M., Chaali, N., Jaramillo-Barrios, C. I., Oua zaa, S., Polo, V. J., y Calderon Carvajal, J. E. (2025). *An ecological, environmental, y economic indica tors-based approach towards enhancing sustainability in water y nutrient use for passion fruit cultivation in Colombia.* Environmental y Sustainability Indicators, 26, 100602. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100602

Zhang, B., Yan, S., Li, B., Wu, S., Feng, H., Gao, X., Song, X., y Siddique, K. H. M. (2023). *Combining organic y chemical fertilizer plus water-saving system reduces en vironmental impacts y improves apple yield in rainfed apple orchards.* Agricultural Water Management, 288. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108482

Capítulo **107**

Influencia de la fertilización presiembra sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de cebollín (*Allium schoenoprasum* L.)

Silva Martínez Julián Jose[1]
Ruisanchez Ortega Yohandri[1*]
Camacho Vindiola Adrian[2]
Salomón Torres Ricardo[1]
Peña Yam Laura Patricia[1]
Samaniego Sandoval Laura[1]

[1] Universidad Estatal de Sonora. Unidad Académica SLRC. *yohandri.ruisanchez@ues.mx.
[2] YARA MÉXICO.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos fertilizantes aplicados en presiembra sobre el cultivo de cebollín (*Allium schoenoprasum* L.). El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano 2025 en la Universidad Estatal de Sonora, unidad San Luis Río Colorado, sobre un suelo arenoso. Se empleó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos (T1: Testigo, T2: YaMila Star y YaraMila Tristar) y tres repeticiones. Las variables evaluadas a los 35 días después de la aplicación fueron: número de hojas, longitud y diámetro del tallo, longitud de raíz y contenido de clorofila (SPAD). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en el número de hojas, longitud y diámetro del tallo, siendo el tratamiento con T3: YaraMila Tristar el más efectivo, seguido de T2: YaraMila Star. No se observaron diferencias significativas en la longitud de raíz ni en el contenido de clorofila. Se concluye que la fertilización presiembra con formulaciones balanceadas mejora el crecimiento vegetativo del cebollín, especialmente en suelos arenosos, destacando el potencial agronómico de YaraMila Tristar para optimizar la producción de esta hortaliza.

Introducción

El cebollín (*Allium schoenoprasum* L.) es una hortaliza de creciente importancia en la agricultura mexicana, tanto por su valor culinario como por sus propiedades nutracéuticas. Tradicionalmente utilizado como condimento en una amplia variedad de platillos, el cebollín ha captado el interés de la comunidad científica debido a su contenido de compuestos bioactivos que incluye flavonoides, compuestos azufrados y antioxidantes naturales (Bayer, 2018; Domínguez et al., 2019). En este contexto, el cultivo de cebollín ha mostrado una expansión sostenida en el valle de Mexicali, Baja California, alcanzando durante los ciclos agrícolas otoño-invierno

2024-2025 y primavera-verano 2025 una superficie conjunta aproximada de 5,315 hectáreas; el 90 por ciento de esta producción se exporta a Estados Unidos (Tribuna Económica, 2025). La aplicación de fertilizantes en el momento de presiembra constituye una práctica agronómica fundamental para optimizar el establecimiento y desarrollo inicial de los cultivos hortícolas. Esta etapa crítica del manejo nutricional incide directamente en la disponibilidad inmediata de nutrientes esenciales en la rizosfera, lo que favorece una germinación uniforme, un crecimiento vigoroso de las plántulas y una mayor eficiencia en el uso de los recursos edáficos (FAO, 2022). En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dos fertilizantes aplicados en presiembra sobre el cultivo de cebollín (*Allium schoenoprasum* L.).

Materiales y métodos

Para cumplir los objetivos propuestos, se llevó a efecto el presente estudio durante la campaña primavera-verano 2024-2025, en áreas de la Universidad Estatal de Sonora, unidad académica San Luis Río Colorado, ubicada al noroeste del Estado de Sonora, a 32°27'30.6"N 114°42'14.2"W. El material vegetal empleado fue el cultivo de cebollín, variedad Green Banner. Esta variedad se caracteriza por presentar una pulpa blanca y un color exterior blanco. Su madurez relativa es de aproximadamente 60 días, lo que permite ciclos de cultivo más cortos y eficientes, especialmente en las temporadas de verano, otoño e invierno (Bayer, 2025). Los fertilizantes empleados fueron YaraMila Star y YaraMila Tristar, ambos de la casa comercial Yara México. YaraMila Star Zn destaca por su formulación con un balance NPK que favorece el desarrollo en las fases iniciales del cultivo (Yara, 2025a). Por su parte, YaraMila Tristar es un fertilizante balanceado (15-15-15); se caracteriza por su bajo contenido de cloro (Yara, 2025b). El experimento se desarrolló en condiciones de campo abierto, con una dimensión de 80 m² (8x10 m). El cultivo se estableció del 1 de abril al 27 de junio del 2025, sobre un suelo arenoso.

Tratamiento y diseño experimental: Se estudiaron un total de tres tratamientos, los cuales se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. *Descripción de los tratamientos evaluados en el cultivo de cebollín.*

Tratamiento	Cantidad (kg.ha-1)	Momento	N	P	K	Mg	Zn	S
			kg.ha^{-1}					
T1: Testigo	0	-	0	0	0	0	0	0
T2: YaraMila Star	300	Presiembra	63	51	9	1.2	0.54	36
T3: YaraMila Tristar	300	Presiembra	45	45	45	0	0	15

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con tres réplicas. La siembra se realizó en parcelas de 27 m² (9 m de largo x 3 m de ancho) con un área de cálculo de 20 m², a doble hilera en una densidad de 150 000 plantas ha^{-1}.

Indicadores evaluados: A los 35 días después de la aplicación (DDA), se evaluaron diversas variables morfológicas y fisiológicas en las plantas; se tomó como unidad experimental 10 plantas por parcela. La longitud del tallo (cm) se determinó utilizando una cinta métrica y al medir desde la base hasta el ápice de cada planta seleccionada. Para el diámetro basal del tallo (mm), se empleó un pie de rey (vernier) y se registró el grosor en la base del tallo de cada planta. El número de hojas por planta (u) se cuantificó mediante el conteo directo de las hojas presentes en cada individuo. La longitud de la raíz (cm) se midió tras el lavado cuidadoso de las raíces con agua abundante, utilizando también una cinta métrica para registrar la extensión desde la base del tallo hasta el extremo más distal de la raíz principal. Finalmente, el contenido de clorofila (SPAD) se evaluó en la hoja bandera de cada planta mediante el uso del dispositivo SPAD-502 Chlorophyll Meter y proporciona una estimación indirecta del contenido relativo de clorofila. Estas mediciones permitieron caracterizar el desarrollo vegetativo y el estado fisiológico de las plantas bajo las condiciones experimentales establecidas.

Procesamiento estadístico: Para el procesamiento estadístico de la información se realizó, para cada variable evaluada, un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0,05 en los casos en que fue necesario.

Resultados y discusión

La Tabla 2 presenta diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en el número de hojas, así como en la longitud y el diámetro del tallo. Los tratamientos T2 (YaraMila Star) y T3 (YaraMila Tristar) superaron al tratamiento T1 (Testigo) en un 10 % y 19 % en el número de hojas, respectivamente, y en un 45 % y 50 % en la longitud del tallo. Cabe destacar que el tratamiento T3 mostró la mayor estimulación en el diámetro del tallo, diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos evaluados. Por otro lado, no se observaron efectos significativos de los tratamientos sobre la longitud de la raíz ni sobre el contenido de clorofila (SPAD).

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que la aplicación de fertilizantes en presiembra tiene un efecto significativo sobre variables morfológicas clave del cultivo de cebollín (*A. schoenoprasum* L.), particularmente en el número de hojas, la longitud y el diámetro del tallo. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por FAO (2022), quien destaca que una nutrición balanceada en etapas tempranas del cultivo mejora el desarrollo vegetativo y la eficiencia en el uso de nutrientes.

Tabla 2. *Efecto de los tratamientos evaluados sobre los indicadores evaluados.*

Tratamientos	**Numero de hojas (u)**	**Longitud del tallo (cm)**	**Diámetro del tallo (mm)**	**Longitud de raíz (cm)**	**SPAD**
T1: Testigo	3.63 b	24.90 b	4.73 c	7.90	51.74
T2: YaraMila Star	4.00 a	36.13 a	6.75 b	8.48	55.58
T3: YaraMila Tristar	4.33 a	37.44 a	7.49 a	9.10	56.43
CV (%)	8.47	21.3	19.09	2.56	1.81
EsX	0.004	0.001	0.001	0.08	0.171

P≤0.05: Existieron diferencias significativas entre los tratamientos. P≥0.05: No existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

El tratamiento con YaraMila Tristar (T3) mostró el mejor desempeño en la mayoría de las variables evaluadas, superando significativamente al testigo (T1) y al tratamiento con YaraMila Star (T2). En particular, el diámetro del tallo fue un indicador altamente sensible a la formulación del fertilizante, siendo T3 el único tratamiento que integró una proporción equilibrada de NPK (15-15-

15), lo cual podría haber favorecido una mayor acumulación de biomasa en tejidos estructurales. Este resultado es consistente con lo señalado por Yara (2025b), quien atribuye a la formulación balanceada y al uso de sulfato de potasio (SOP) una mejora en la calidad del cultivo. Los resultados encontrados en la longitud de raíz ni en el contenido de clorofila (SPAD) posiblemente estén relacionados con la baja sensibilidad de estos indicadores a la fertilización inicial o por el corto periodo de evaluación (35 DDA). Estudios previos indican que la clorofila puede depender más de factores ambientales y genéticos que de la fertilización presiembra (Bayer, 2018). Los resultados son congruentes con lo reportado por Hidalgo et al. (2023), quienes observaron mejoras significativas en el crecimiento vegetativo del cebollín bajo esquemas de fertilización balanceada. Asimismo, el comportamiento diferencial entre los tratamientos fertilizados y el testigo reafirma la importancia de una nutrición inicial adecuada para maximizar el potencial productivo del cultivo, especialmente en suelos arenosos.

Conclusiones

El fertilizante YaraMila Tristar (T3) mostró el mejor desempeño agronómico, lo que supera significativamente al testigo (T1) y al tratamiento con YaraMila Star (T2) en todas las variables con diferencias estadísticas. Esto sugiere que su formulación balanceada (15-15-15) y su bajo contenido de cloro favorecen un crecimiento más vigoroso.

Referencias

Bayer. (2018). *Aprovecha al máximo la productividad de la primavera sembrando cebollines.* https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/recursos/noticias/aprovecha-al-maximo-la-productividad-de-la-primavera-sembrando-cebollines.html

Bayer. (2025). *Ficha técnica variedad Green Banner.* https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/productos/cebolla/details.html/onion_green_banner_mexico_seminis_all_grehighomopeprosma_all.html

Domínguez, O. G. P., Pesantes, K. E. B., Martínez, M. M. y Gaitén, Y. G. (2019). *Estudio químico y evaluación biológica del extracto etanólico de Allium*

schoenoprasum L. Regel y Tiling (Cebollín). Revista Cubana de Farmacia, 52(1).

Hidalgo, R., Flores, B., Ferrer, J., y Agraz, C. S. (2023). *EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE CEBOLLÍN (AlliumSchoenoprasum) EN UN PATIO PRODUCTIVO*. Revista UNERG AGRO CIENTIFICA, 4(2), 7-7.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). Alternativas para el manejo sostenible de la fertilización de suelos y nutrición vegetal. https://www.fao.org/3/cc0964es/cc0964es.pdf

Tribuna Económica. (2025). *Cebollín, principal hortaliza cultivada en el valle de Mexicali*. https://tribunaeconomica.com.mx/publicaciones/seccion/economia/cebollin-principal-hortaliza-cultivada-en-el-valle-de-mexicali/

Yara. (2025a). *Ficha técnica YaraMila Star*. https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/productos/yaramila/yaramila-star-zn/

Yara. (2025b). *Ficha técnica YaraMila Tristar*. https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/productos/yaramila/yaramila-tristar

Capítulo **108**

Aplicación foliar de fitonanopartículas y su efecto sobre pigmentos fotosintéticos y la actividad antioxidante de chile habanero (*Capsicum chinense*)

Alfaro Corres Arnoldo[1]
Mendez Trujillo Vianey[2]
González Mendoza Daniel[1]
Joya Dávila José Gregorio[1]
Valdez Salas Benjamin[3]
Ruiz Sánchez Esau[3]
Reyes Ramírez Arturo[3]
Garruña Rene[3]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera. Delta Oaxaca s/n, 21705. vianey.mendez.trujillo@uabc.mx.
[2] Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Medicina y Nutrición. Dr. Humberto Torres Sanginés S/N, Centro Cívico, 21000 Mexicali, B.C.
[3] Tecnológico Nacional de México Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán. Conkal, Yucatán. C.P. 97345.

Resumen

La aplicación de nanopartículas (NP) ha ganado popularidad en la agricultura debido a su uso en la protección de los cultivos. Sin embargo, existe preocupación por los posibles efectos fitotóxicos. El objetivo es evaluar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas sobre pigmentos fotosintéticos y la actividad antioxidante en *Capsicum chinense*. Se sintetizaron NP a partir de extractos foliares de *Capsicum chinense* y se aplicaron en hojas de *Capsicum chinense* y se evaluaron pigmentos, rendimiento fotoquímico y actividad antioxidante a las 72 h de la aplicación. El contenido de clorofila y la eficiencia fotoquímica de las hojas de *C. chinense* fueron afectados en todos los tratamientos con NP. Además, en las plantas tratadas con NP aumentó el contenido de flavonoides, antocianinas y la actividad enzimática. Por lo que el estudio demuestra que las nanopartículas pueden activar la acción de mecanismos de regulación de estrés oxidativo para evitar posibles daños a nivel de fotosistema.

Introducción

El chile habanero (*C. chinense*) es ampliamente cultivado en la península de Yucatán, una región de México reconocida como centro de diversidad genética de la especie (Muñoz-Ramírez et al., 2020). Estos chiles son ricos en vitaminas, capsaicinoides, carotenoides y polifenoles, muy valorados en la nutrición humana y en la industria alimentaria (Pappalardo et al., 2021). Una de las principales limitantes en el cultivo de *C. chinense* es la incidencia de plagas, las cuales reducen la calidad, rendimiento y la productividad del cultivo. En ese aspecto, el uso de insecticidas químicos sigue siendo el método más utilizado para el control de las plagas, provocando efectos negativos en el ambiente y en la salud humana (Gío-Trujillo y Cámara-Romero, 2023). No obstante, entre alternativas biotecnológicas para el control de insectos se tiene el empleo de fitonanopartículas obtenidas de plantas

con propiedades repelentes (Balusamy et al., 2023). La síntesis verde de nanopartículas ofrece una forma más respetuosa con el ambiente y más barata, ya que estas son a base de extractos vegetales, lo que ofrece una sinergia entre el metal de la NP y los fitoquímicos de la planta (Singh et al., 2023). Las NP de síntesis verde suelen ser menos tóxicas que las de síntesis química; incluso pueden presentar efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto depende de las propiedades fisicoquímicas de las NP, la etapa de desarrollo de la planta y las condiciones experimentales, incluyendo la duración y el tiempo de exposición (Zhang et al., 2021). Son pocos los estudios que se han centrado en los efectos tóxicos de las NP sobre los componentes y reacciones fotosintéticas de las hojas (Pedruzzi et al., 2020). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de síntesis verde sobre los pigmentos fotosintéticos y la actividad antioxidante en tejido foliar de *Capsicum chinense*.

Material y métodos

Para la elaboración de los extractos acuosos se emplearon hojas jóvenes de chile habanero (*Capsicum chinense*) recolectadas en el ejido Nuevo León del valle de Mexicali. Las hojas se secaron en un horno a 60 °C. Los extractos acuosos se prepararon con 30 g de hojas secas mezcladas con 300 ml de agua destilada a 60 °C durante 10 min. Para la síntesis se combinaron los extractos vegetales con diferentes sales metálicas (sulfato cúprico, sulfato de zinc o sulfato manganoso). Se hizo uso de la relación extracto: sal metálica (1:4 v/v), se pusieron a baño maría durante 15 min a 60 °C y se monitorizó la síntesis mediante el cambio de coloración. Para obtener nanopartículas de Cu/Mn-C. *chinense*, Cu-C. *chinense* y Zn/Cu-C. *chinense*. Cada tratamiento se evaluó en hojas de C. *chinense*, donde se monitoreó el contenido de clorofila, antocianinas y flavonoides, el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (Fv/Fm) cada 24 horas por unos tres días. Así mismo, se colectaron muestras a las cuales se les determinó la actividad de enzimas antioxidantes como catalasas y peroxidasas a 240 y 470 nm/min, respectivamente. Para todos los tratamientos se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental consistió en una hoja de *C. chinense* en una caja Petri. Todos los datos

recopilados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) con una prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el software Infostat versión 2018.

Resultados y discusión

Se observó que la concentración de clorofilas totales y el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (Fv/Fm) disminuyeron significativamente en comparación con el testigo en la mayoría de los tratamientos con NP (Tabla 1). Sin embargo, en la concentración de clorofilas, los tratamientos donde se utilizaron nanopartículas de Cu, estas fueron estadísticamente menores al testigo ($p < 0.05$). Con respecto a la actividad antioxidante, se observó un aumento significativo en el contenido de flavonoides en todos los tratamientos, del 27 al 41 y del 7 al 43 % en la aplicación de metales y NP, respectivamente ($p < 0.05$). Por otra parte, el contenido de antocianinas aumentó en las hojas tratadas con cobre y Cu-NP-C. *chinense*, mientras que las hojas tratadas con Mn (Mn y Mn-NP-C. *ambrosioides*) no presentaron diferencia estadística con el testigo (Tabla 2).

La actividad enzimática de catalasas en hojas de *C. chinense* aumentó su actividad con la aplicación de cobre que presentaron. Por otra parte, la enzima peroxidasa presentó un aumento significativo cuando las hojas fueron expuestas a Cu-NP-C. *chinense* y Zn/Cu-NP-C. *chinense* (Tabla 2). El efecto de las NP sobre la clorofila observado en este trabajo es similar a lo mencionado por otros autores, donde se ha encontrado una disminución del 15-48 % del contenido de clorofila usando NP verdes sobre *Arachis hypogaea*, *Annona muricata* y *Camelina sativa* (Santos-Espinoza et al., 2020; Jonapá-Hernández et al., 2020). En contraste con Gossypium herbaceum, donde la aplicación de NP indujo un aumento en los valores de clorofila (Shafqat et al., 2023).

Tabla 1. *Contenido de clorofila total y rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (Fv/Fm) en hojas de C. chinense después de 72 h de exposición a sales metálicas y fitonanopartículas.*

Tratamiento	**Clorofila total (Unidades Dualex)**	**Fv/Fm**
Control	32.2±1.4a	0.77±0.00a
Cu	20.3±1.3b	0.57±0.05b
Zn	21.3±0.6bc	0.61±0.07b
Zn/Cu	16.7±3b	0.62±0.02b
Cu/Mn	22.1±1bc	0.65±0.01c
Cu/Mn-C. *chinense*	19.8±1.6c	0.58±0.05bc
Cu-C. *chinense*	21.1±1bc	0.53±0.06d
Zn/Cu-C. *chinense*	19.1±1.4c	0.59±0.09b

Datos= media ± DE. Letras diferentes en la misma columna representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$)

Tabla 2. *Actividad antioxidante enzimático (catalasas y peroxidasas) y no enzimático (flavonoides y antocianinas) en hojas de Capsicum chinense después de 72 h de exposición.*

Tratamientos	**Flavonoides (Unidades Dualex)**	**Antocianinas (Unidades Dualex)**	**Actividad Catalasas (U mg proteína^{-1})**	**Actividad Peroxidasas (U mg proteína^{-1})**
Control	1.16±0.02[a]	0.07±0.00a	1.71±0.08a	0.78±0.28a
Cu	1.61±0.07b	0.31±0.04b	8.08±1.01b	39.09±3.04b
Zn	1.64±0.12b	0.29±0.03b	2.9±0.98 c	14.89±1.26c
Zn/Cu	1.55±0.13b	0.22±0.01c	4.41±0.7d	20.1±1.72d
Cu/Mn	1.47±0.11c	0.15±0.01d	2.06±0.99c	10.17±1.50e
Cu/Mn-NP- C. *chinense*	1.42±0.12c	0.22±0.03e	3.32±0.87c	3.42±0.68f
Cu-NP- C. *chinense*	1.60±0.14b	0.31±0.09b	3.67±1.02c	15.41±0.93c
Zn/Cu-NP- C. *chinense*	1.61±0.07b	0.22±0.01e	6.63±0.82e	11.71±2.24e

Datos= Media ± DE. Letras diferentes en la misma columna representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

Con respecto a los flavonoides, se ha documentado un aumento del 65-69 % sobre *Lactuca sativa*, *Zea mays* y un aumento de hasta tres veces en *Brassica juncea* (Sehnal et al., 2019; Geremew et al., 2020). Con respecto al aumento de la concentración de antocianinas, datos similares han documentado del 30-64 % en *Z. mays* y *A. muricata* (Jonapá-Hernández et al., 2020). Por otra parte, el incremento de las enzimas antioxidantes como las catalasas y peroxidasas por efecto del uso de NP ya se ha documentado. Se encontró un aumento en la actividad enzimática de la catalasa y de peroxidasa en *Arachis hypogaea* y *Annona muricata* (Jonapá-Hernández et al., 2020; Santos-Espinoza et al., 2020).

Conclusiones

El uso de fitonanopartículas en tejido foliar de C. *chinense* provoca una disminución en el contenido de clorofila y la eficiencia fotoquímica del fotosistema II, así como un aumento en la actividad de enzimas antioxidantes. El presente estudio demostró que los efectos negativos de las fitonanopartículas en C. *chinense* van a depender del tipo de ion usado en la síntesis de nanopartículas, así como del extracto vegetal utilizado. Sin embargo, el impacto fue menor al usar únicamente las sales metálicas sobre el tejido foliar..

Referencias

Balusamy, S.R., Joshi, A.S., Perumalsamy, H., Mijakovic, I., y Singh, P. (2023). *Advancing sustainable agriculture: a critical review of smartyeco-friendly nanomaterial applications*. Journal of nanobiotechnology. 21(1), 372. https://doi.org/10.1186/s12951-023-02135-3.

Geremew, A., Carson, L., Woldesenbet, S., Wang, H., Reeves, S., Brooks, N. Jr., Saganti, P., Weerasooriya, A. y Peace, E. (2023). E*ffect of zinc oxide nanoparticles synthesized from Carya illinoinensis leaf extract on growthyantioxidant properties of mustard (Brassica juncea)*. Frontier in Plant Science. 23(14). https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1108186.

Gío-Trujillo, J. A. y Cámara-Romero, J.L. (2023). *Efecto repelente de tres extractos vegetales sobre plagas del cultivo de Capsicum Chinense*. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 10. https://doi.org/10.19136/era.a10niii.3614.

Jonapá-Hernández, F., Gutiérrez-Miceli, F., Santos-Espinosa, A., Ruíz-Lau, N., Ruíz-Valdiviezo, V., Valdez-Salas, B., y González-Mendoza, D. (2020). *Foliar application of green nanoparticles in Annona muricata L. plantsytheir effects in physiologicalybiochemical parameters.* BiocatalysisyAgricultural Biotechnology. 28. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101751.

Muñoz-Ramírez, L.S., Peña-Yam, L.P., Álvarez-Gil, M.A., Iglesias-Andreu, L.G., Avilés-Viñas, S.A., Canto-Flick, A., Guzmán-Antonio, A., y Santana-Buzzy, N. (2020) *Selection of habanero pepper F1 hybrids (Capsicum chinense Jacq.) at the Yucatan peninsula, Mexico with a high potential for different markets.* Agriculture. 10. https://doi.org/10.3390/agriculture10100478.

Pappalardo, I., Santarsiero, A., De Luca, M., Acquavia, M. A., Todisco, S., Caddeo, C., Bianco, G., Infantino, V., Martelli, G., y Vassallo, A. (2021). *Exploiting the anti–inflammatory potential of white Capsicum extract by the nanoformulation in phospholipid vesicles.* Antioxidants (Basel). 10(11). https://doi.org/10.3390/antiox10111683.

Santos-Espinoza, A.M., González-Mendoza, D., Ruiz-Valdiviezo, V.M., Luján-Hidalgo, M.C., Jonapa-Hernández, F., Valdez-Salas, B., y Gutiérrez-Miceli, F.A. (2021). *Changes in the physiologicalybiochemical state of peanut plants (Arachis hypogaea L.) induced by exposure to green metallic nanoparticles.* International Journal of Phytoremediation. 23(7), 747-754. https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1856037.

Sehnal, K., Hosnedlova, B., Docekalova, M., Stankova, M., Uhlirova, D., Tothova, Z., Kepinska, M., et al., (2019). *An assessment of the effect of green synthesized silver nanoparticles using sage leaves (Salvia officinalis L.) on germinated plants of maize (Zea mays L.).* Nanomaterials (Basel). 9(11). https://doi.org/10.3390/nano9111550.

Shafqat, U., Hussain, S., Shahzad, T., Shahid, M., y Mohamood, F. (2023). *Elucidating the phytotoxicity thresholds of varios biosynthesized nanoparticle on physicalybiochemical attributes of cotton.* ChemicalyBiological Technologies in Agriculture. 10, 30. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00402-x.

Singh, H., Desimone, M.F., Pandya, S., Jasani, S., George, N., Adnan, M., Aldarhami, A., et al., (2023). *Revisiting the green synthesis of nanoparticles: uncovering influences of plant extracts as reducing agents for enhanced synthesis efficiencyyits biomedical applications.* International Journal of Nanomedicine. 18, 4727–4750. https://doi.org/10.2147/IJN.S419369.

Zhang, H., Chen, S., Jia, X., Huang, Y., Ji, R., y Zhao, L. (2021). *Comparation of the phytotoxicity between chemicallyygreen synthesized silver nanoparticles.* Science of the Total Environment. 752. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142264.

Capítulo **109**

Manejo de *Melanaphis sacchari* Zehntner con insecticidas botánicos en el cultivo de sorgo

López Cuén Pedro Iván[1]
Payán Arzapalo María Alejandra[1*]
Yáñez Juárez Moisés Gilberto[1]
Tirado Ramírez Martin Abraham[1]
Vega Gutiérrez Tomás Aarón[1]
Molina Cárdenas Lorena[1]
Delgado Pacheco Verónica[1]
Román Román Leonardo[1]
Rubio Aragón Walter Arturo[2]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México. * mariapayan@uas.edu.mx.
[2] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias Económicas y Tecnológicas, carretera Angostura Km. 0.5, Col. Morelos, C.P. 81400, Salvador Alvarado, Sinaloa, México.

Resumen

En el año 2023, el estado de Sinaloa registró una producción de 363 663 toneladas (t) de *Sorghum bicolor* L. Este cultivo se ve afectado por *Melanaphis sacchari* Zehntner, un áfido que ocasiona daños severos al infestar el envés de las hojas. El constante uso de insecticidas sintéticos en el control de plagas ocasiona problemas de resistencia, así como también contaminación y daños a la salud. Ante tal panorama, es necesario buscar alternativas que permitan contrarrestar estos efectos negativos, como los insecticidas botánicos que muestran eficacia al combatir plagas y con menor riesgo ambiental y sanitario. El objetivo es determinar la eficacia de los insecticidas botánicos comerciales a base de diferentes ingredientes activos orgánicos en condiciones de laboratorio y campo, para el control de *M. sacchari* en el cultivo de sorgo. Se realizó un experimento en laboratorio y otro en campo para probar los insecticidas botánicos: Mixxert, Aranova, Escent, Green gold, testigo absoluto (agua), Candor, Cridor, Aley Pro, Blend y Cyr canela a una dosis de 10 mL/L-1 agua, excepto Cridor: (3 mL/L-1) y Aley Pro: (5 mL/L-1). Se usó la técnica de la hoja de arena y una aspersora de motor para la aplicación de los insecticidas. Se midió el porcentaje de mortalidad, supervivencia e incidencia de los áfidos que cuenta de manera directa. Candor y Cridor presentaron mayor eficiencia de control (95 y 94 %) del insecto en laboratorio y campo, así como menor producción de ninfas con una reducción de 69,9 y 100 % respecto al testigo absoluto.

Introducción

El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es un cereal muy importante, que ayuda a alimentar grandes regiones del mundo. En el año 2023, México aportó 4 800 000 t (USDA, 2024), de las cuales Sinaloa produjo 363 663 t (SIAP, 2024). El sorgo presenta limitantes para su producción debido al ataque de la plaga *Melanaphis sacchari* Zehntner 1897, Hemíptera:

Aphididae: Este áfido infesta el envés de las hojas y secreta sustancias azucaradas sobre la superficie de la hoja (SENASICA, 2014); también produce fumagina que afecta la capacidad fotosintética de la planta, así como la transmisión de virus Sugarcane mosaic virus (SCMV) y Sugarcane yellow leaf virus (ScYLV) (CABI, 2014). Para el control de *M. sacchari* predomina el uso de insecticidas sintéticos, lo que ha generado problemas de resistencia, contaminación ambiental y daños en la salud del consumidor. Ante tal panorama, es necesario buscar alternativas que permitan contrarrestar los efectos negativos de los plaguicidas sintéticos, como el uso de insecticidas botánicos que sean eficaces para el control y a la vez amigables con el medio ambiente, la salud de los seres vivos y la preservación de los enemigos naturales. Nuestro objetivo es determinar la eficacia de insecticidas botánicos comerciales a base de diferentes ingredientes activos orgánicos, en condiciones de laboratorio y campo, para el control de *M. sacchari* en el cultivo de sorgo.

Materiales y métodos

Experimento en laboratorio

Se realizó en el laboratorio de Toxicología, en la Facultad de Agronomía de la UAS, ubicado en la carretera Culiacán–Eldorado km 17.5, en el ciclo 2023. Se utilizó la técnica de Abou-Setta y Childers (1987) conocida como hoja arena. Se empleó un diseño completamente al azar con 10 tratamientos: Mixxert, Aranova, Escent, Green Gold, Candor, Cridor, Aley Pro, Belnd, Cyr canela y Testigo absoluto (agua). La dosis aplicada fue de 10 mL/L^{-1} de agua para todos los productos, excepto Cridor (3 mL/L^{-1}) y Aley Pro (5 mL/L^{-1}), y diez repeticiones; cada planta se infestó con 10 pulgones y generó una unidad experimental. Las plantas se asperjaron cada 24 h con un atomizador que contenía los insecticidas botánicos. Se contabilizó el total de adultos muertos y la presencia de ninfas recién emergidas a las 24, 48 y 72 h DDA.

Experimento de campo

Se realizó en una parcela en Chinitos, Angostura, Sinaloa, ubicada en el kilómetro 42.6, durante el ciclo agrícola 2023. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con los tratamientos y dosis indicadas en el experimento de laboratorio; cada tratamiento se repitió tres veces y cada parcela experimental tuvo una longitud de dos metros. Antes de aplicar cada tratamiento, se monitoreó la incidencia de la plaga. Posteriormente, los tratamientos se aplicaron mediante una aspersora motorizada marca Hyundai. La incidencia del áfido se determinó a las 24 y 48 horas DDA mediante la escala de A-F propuesta por Bowling et al. (2015), donde A: 12 áfidos y F: 1500 áfidos. Se tomaron 10 plantas por tratamiento y se llevó a cabo un conteo directo en el envés de las hojas, al igual que se realizaron ocho aplicaciones en total. Para determinar los porcentajes de eficiencias, se utilizó la técnica de Abbott (1925) y la siguiente fórmula donde:

$$\%\text{eficiencia}=B*100A-100*(-1)$$

A= población del testigo como un 100 %, B= población del tratamiento.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se efectuó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS® versión 9.0.

Resultados y discusión

Experimento de laboratorio

El insecticida Cridor presentó el mayor número de insectos muertos y nula producción de ninfas en todas las evaluaciones realizadas después de las aplicaciones con los insecticidas botánicos respecto al testigo absoluto (Cuadro 1). Esto coincide con lo reportado por Peralta-Sánchez et al. (2014), quienes observaron considerable mortandad de M. sacchari utilizando un extracto de cempasúchil.

Cuadro 1. *Promedio de pulgones muertos y ninfas emergidas, en plantas de sorgo tratadas con insecticidas botánicos en laboratorio.*

Tratamiento	Adultos muertos			Ninfas emergidas		
	24 h	**48 h**	**72 h**	**24 h**	**48 h**	**72 h**
1. Mixxert	0.0 b	0.2 ab	1.4 a	28.0 a	17.1 a	0.2 ab
2. Aranova	0.0 b	0.2 ab	2.2 a	10.5 ab	8.9 ab	0.4 ab
3. Escent	0.1 b	0.1 ab	1.1 a	9.9 ab	15.4 a	0.0 b
4. Green Gold	0.4 ab	0.0 b	1.0 a	9.7 ab	10.7 a	0.0 b
5. Testigo absoluto (agua)	0.1 b	0.0 b	0.5 a	27.1 a	13.8 a	0.0 b
6. Candor	0.0 b	0.0 b	1.9 a	17.6 a	9.2 ab	0.0 b
7. Cridor	1.3 a	1.3 a	1.6 a	0.0 b	0.0 b	0.0 b
8. Aley Pro	0.5 ab	0.3 ab	0.3 a	14.9 a	12.9 a	0.3 ab
9. Blend	0.3 b	0.3 ab	0.8 a	19.0 a	9.0 a	0.0 b
10. Cyr Canela	0.0 b	0.0 b	0.1 a	26.9 a	24.1 a	1.7 a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p<0.05$).

Experimento de campo

La incidencia de los pulgones antes de las aplicaciones (ADA) no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, se puede apreciar que después de las aplicaciones (DDA) de los insecticidas botánicos todos los tratamientos redujeron el número de pulgones y fueron estadísticamente iguales, excepto el testigo absoluto que registró el mayor número de áfidos (Cuadro1). Estos resultados coinciden con lo reportado por (Roanix, 2014) que al usar una mezcla de extractos se redujo la producción de ninfas de *Myzus persicae*. Los insecticidas Candor y Cridor, presentaron mayor eficiencia en el control de los áfidos después de las aplicaciones (Cuadro 2).

Cuadro 2. *Promedio de la incidencia de pulgón amarillo antes y después de las aplicaciones con insecticidas botánicos en campo.*

Tratamiento	Número de pulgones ADA	Número de pulgones DDA	Eficiencia de los insecticidas (%)
1. Mixxert	617.1 a	66.67 b	87
2. Aranova	518.2 a	80.33 b	19
3. Escent	759.8 a	164.22 b	14
4. Green Gold	380.6 a	42.22 b	92
5. Testigo absoluto (agua)	749.1 a	1049.67 a	0
6. Candor	863.9 a	27.78 b	95
7. Cridor	456.6 a	33.33 b	94
8. AleyPro	810.6 a	43.11 b	65
9. Blend	655.3 a	44.44 b	91
10. Cyr Canela	869.6 a	56.56 b	63

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p<0.05$).

Conclusiones

Los insecticidas botánicos Cridor y Candor mostraron mayor eficiencia en el control de *M. sacchari*; así mismo, redujeron la producción de ninfas en hembras adultas. Esto puede estar asociado al contenido de tiofenos fotoactivos, presentes principalmente en las flores de cempasúchil, y al alto contenido de alcaloides presentes en la canela.

Referencias

Abbott, W.S. (1925). *A method of computing the effectiveness of an insecticide*. J. Econ. Entomol, 18, 265-267.

Abou-Setta, M. M.yChilders, C. C. (1987). *A modified leaf arena technique for rearing Phytoseiid or Tetranychid mite for biological studies.* Florida Entomologist. 70: 245-248.

Bowling, R., M. J. Brewer, S. Biles,yJ. Gordy. (2015). *Occurrence of sugarcane aphid in the United StatesyMéxico with reference to occurrence in 2013y2014*. Texas Plant Protection Conference, Bryan, TX. http://ccag.tamu.edu/sorg.hum-insect-pests/

CABI. (2014). Crops Protection Compendium. *Data Sheet for: M. sacchari (Zehnter)*. http://www.cabi.org/isc/datashet/26757.

Ronaix. (2014). *Pruebas de eficacia y vademécum de Insecta Pro®, para el manejo de Bemisia tabaci Gennadius, en hortalizas*. León. Nicaragua. 62.

Peralta-Sánchez, M. G., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Rodríguez-Mendoza, M. N., Serrato-Cruz, M. A. y García-Albarado, J. C. (2014). *Metabolitos secundarios y clorofilas en cempasúchil en respuesta a estrés salino*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9, 1589-1599. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1050.

Departamento de Agricultura de Estados Unidos. (2024). *Producción Mundial de Sorgo 2023/2024*. 1. http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/sorgo.aspx.

SENASICA. (2014). *Pulgón amarillo Melanaphis sacchari (Zehntner)*. Ficha Técnica No. 4. SAGARPA. https://www.cesavep.org/descargas/SORGO/FichaT%C3%A9cnicaNo.43Pulgonamarillo_25junio.pdf.

SIAP. (2024). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/.

Capítulo **110**

Uso del DNVI como herramienta de predicción del rendimiento de grano en líneas de triticale

López Alvarado Diana[1]
Galicia Juárez Marisol[1*]
Castañeda Bustos Vielka Jeanethe[1]
Achiquen Millán Jimena[1]
Soto Ortiz Roberto[1]
Alvarado Padilla Jorge Iván[2]
Cisneros López Ma. Eugenia[3]

[1] Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera. Delta Oaxaca s/n C.P. 21705. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. *marisol.galicia.juarez@uabc.edu.mx.
[2] INIFAP, Campo Experimental Valle de Mexicali, Mexicali, Baja California.
[3] INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Carretera Matamoros-Reynosa, km 61 Rio Bravo, Tamaulipas.

Resumen

La actividad ganadera representa un componente esencial en la economía del Valle de Mexicali, donde la producción de carne y leche se mantiene como un pilar en la economía del estado. La viabilidad de este sector depende en gran medida del acceso a forrajes de buena calidad y alta adaptabilidad. En este contexto, el triticale, un híbrido entre trigo y centeno, ha surgido como una alternativa eficaz por su eficiencia en el uso del agua, su resistencia a condiciones adversas y su adecuado valor nutricional. Se tiene como propósito utilizar el Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada (NDVI) en líneas de triticale en etapa de embuche, como una herramienta predictora del rendimiento de grano. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron 17 líneas de triticale (x Triticosecale Wittmack) tipo primaveral. El análisis estadístico se realizó empleando el paquete estadístico JMP v17.0.0. El ANVA de la variable NDVI no presentó diferencias significativas, caso contrario al rendimiento de grano, siendo la línea seis la más destacada y la dos la menos sobresaliente. Existe una correlación positiva (0.7916) y altamente significativa entre el NDVI y el rendimiento de grano, por lo que podría ser una herramienta útil en la predicción de rendimiento del grano de triticale en el Valle de Mexicali.

Introducción

Los sistemas agrícolas, particularmente en regiones áridas como el Valle de Mexicali, se encuentran cada vez más afectados por condiciones climáticas extremas, escasez de agua y disminución de la fertilidad del suelo. Pask et al. (2013) hacen referencia a que en los últimos años las tecnologías en la agricultura de precisión han revolucionado el manejo de cultivos mediante herramientas de monitoreo remoto; por ejemplo, una de las más utilizadas es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI),

que permite evaluar la actividad fotosintética y el vigor de los cultivos a través del análisis espectral de la luz reflejada.

Siguiendo esta línea de investigación, Hernández-Clemente (2021) menciona que este índice ha demostrado ser útil para estimar la biomasa, la cobertura foliar y el estado nutricional del cultivo; esto facilita una toma de decisiones más eficiente, además de la aplicación del NDVI. En programas de evaluación genética, permite identificar materiales con mejor desarrollo vegetativo sin necesidad de recurrir a métodos destructivos, lo que optimiza tiempo, recursos y superficie experimental. Yang et al. (2024) concluyeron que el aumento en la reducción de agua para los productores, así como la degradación progresiva del suelo agrícola, son desafíos que limitan la productividad de los cultivos; por lo tanto, estas circunstancias exigen el desarrollo de modelos agrícolas más resilientes y sostenibles.

El triticale, resultado del cruzamiento entre trigo y centeno, ha demostrado una excelente adaptabilidad a ambientes marginales. Este cultivo se ha incrementado en zonas de clima seco debido a su bajo requerimiento hídrico, su buena producción de biomasa y su alto contenido de nutrientes, que lo convierte en una opción atractiva para la alimentación del ganado (CIMMYT, 2016). Con base en lo anteriormente mencionado, el presente estudio se centró en el monitoreo del índice de NDVI en 17 líneas de triticale en la etapa fenológica de embuche y su correlación con el rendimiento del grano, con la finalidad de proponer su uso como una herramienta capaz de identificar líneas con potencial para grano, que respondan favorablemente a las condiciones ambientales del Valle de Mexicali y contribuir al desarrollo agronómico de las regiones áridas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en las instalaciones del campo experimental del INIFAP, lote 47 de la Colonia Chapultepec, en el Valle de Mexicali. Se utilizaron 17 genotipos de triticale tipo primaveral, 16 de ellos experimentales y un testigo (comercial), proporcionados por el Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Se establecieron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, en donde cada unidad experimental consistió en dos surcos de 5 metros de longitud y 0.75 m de separación. La siembra se efec-

tuó el 10 de diciembre de 2024, utilizando una sembradora tipo Wintersteiger Plotman®, aplicando una densidad de siembra de 5 g por surco; enseguida se aplicó el primer riego de establecimiento. Se realizaron cuatro riegos de auxilio: a los 40, 80, 110 y 140 días después de la siembra (dds). La medición de NDVI se llevó a cabo con un Greenseeker® en cada unidad experimental en la etapa de embuche a los 87 dds; camina por un costado del surco con el sensor prendido y calibrado, a una distancia aproximada de un metro del crecimiento de las plantas. La cosecha del grano se llevó a cabo a los 155 días; se cortaron metros lineales de forma alternada, es decir, un total de 3 m^2 de cada unidad experimental. El desgrane del grano se realizó con una trilladora Wintersteiger Plotman®; posteriormente, el grano resultante fue pesado en una balanza granataria Torrey®. El análisis estadístico se realizó empleando el paquete estadístico JMP v17.0.0. (JMP, 2023).

Resultados y discusión

El análisis de varianza de la variable NDVI no mostró diferencias significativas, caso contrario al rendimiento de grano. La comparación de medias del rendimiento de grano indica que la línea 6 es la más destacada y la de menor rendimiento, la línea 2 (Cuadro 1). Velasco-López et al. (2020) indican que las variedades de triticale tipo primaveral cuentan con potencial en rendimiento de grano en la región del valle de Mexicali y son comparadas en rendimiento con el trigo.

Cuadro 1. *Medias ± error estándar por líneas para las variables en estudio.*

Tratamientos	Embuche (NDVI)	Rendimiento (kg / 3 m^2)
1	0.63±0.07a	2.17±0.26ab
2	0.48±0.07a	1.48±0.16bcde
3	0.67±0.04a	2.24±0.20ab
4	0.70±0.03a	2.11±0.12ab
5	0.57±0.09a	1.75±0.26abcde
6	0.66±0.04a	2.62±0.23a
7	0.56±0.10a	1.92±0.33ab
8	0.62±0.07a	2.14±0.24ab
9	0.61±0.05a	1.80±0.17abcd
10	0.59±0.07a	2.22±0.25ab
11	0.63±0.03a	1.98±0.02ab
12	0.54±0.06a	1.83±0.28abc
13	0.53±0.08a	1.91±0.27ab
14	0.53±0.06a	1.88±0.22abc
15	0.63±0.03a	2.15±0.07ab
16	0.54±0.07a	1.59±0.21abcde
17	0.57±0.05a	1.63±0.14abcde

*Literales diferentes en la misma columna muestran diferencia significativa.

Es importante mencionar que la medición del NDVI en el presente estudio se realizó en la etapa de embuche debido a que es una etapa fenológica primordial en las gramíneas para la producción de forraje o de doble propósito. Además, Pask et al. (2013) indicaron que, al ir avanzando de etapas fenológicas, los valores de media tienden a disminuir, lo que sugiere un cambio en la reflectancia asociado a la maduración del cultivo y a la senescencia de las hojas.

En el Cuadro 2, se observa una correlación positiva y altamente significativa entre el NDVI y el rendimiento de grano. Esta correlación puede ser influenciada por la etapa de desarrollo en que se midió y que genera ventajas para la selección de líneas de triticale cuando se buscan materiales de doble propósito (forraje-grano).

Cuadro 2. *Coeficientes de correlación entre índice de NDVI y rendimiento de grano.*

	NDVI	**Rendimiento**
NDVI	1.0000	0.7916
Rendimiento	<.0001	1.0000

*Coeficiente de correlación estimado sobre la diagonal, valor de significancia por debajo de la diagonal.

Los resultados de la presente correlación coinciden con Panek et al. (2020), quienes encontraron una fuerte correlación entre el NDVI y el rendimiento del grano, indicando que esa correlación positiva es prometedora y existe la posibilidad de pronosticar el rendimiento de grano a nivel regional, por lo que afirman que los datos de NDVI son confiables para estimar la producción de grano en triticales. Además, a medida que el NDVI aumenta, el rendimiento del grano también tiende a aumentar, según lo indican Lopes y Reynolds (2012).

Conclusiones

La utilización del NDVI puede ser una herramienta útil en la predicción de rendimiento del grano en líneas de triticale en el Valle de Mexicali. Realizar la medición en la etapa fenológica de embuche podría contribuir a la selección de materiales de doble propósito (forraje y grano); para ello, se debe registrar la producción de biomasa seca.

Referencias

CIMMYT (20016). *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Triticale: opción forrajera para la ganadería en México* - IDP. https://idp.cimmyt.org/triticale-opcion-forrajera-para-la-ganaderia-en-mexico

Hernández-Clemente, R. y Hornero, A. (2021). *Monitoreo y evaluación de la desertificación con teledetección*. Ecosistemas 30(3). https://doi.org/10.7818/ECOS.2240.

JMP ® (2023) *Version 17.0.0*. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Lopes, Marta y Reynolds, Matthew. (2012). *Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation*

index) independently from phenology. Journal of experimental botany. 63. 3789-98. https://doi.org/10.1093/jxb/ers071.

Panek, E., Gozdowski, D., Stępień, M., Samborski, S., Ruciński, D. y Buszke, B. (2020). *Relaciones intra campo entre índices de vegetación derivados por satélite, rendimiento de grano y número de espigas de trigo de invierno y triticale*. Agronomía, 10 (11), 1842. https://doi.org/10.3390/agronomy10111842

Pask, AGD., Pietragalla, J., Mullan, DM., Chavez-Dulanto PN. y Reynolds, MP. (Eds.) (2013) *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una guía del campo para la caracterización Fenotípica de trigo.* CIMMYT.

SADER (2023). *Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural*. https://www.gob.mx/agricultura%7Cbajacalifornia/articulos/carne-principal-producto-pecuario-de-baja-california-en-el-2023.

Velasco López, José Luis, Soto Ortiz, Roberto, Ail-Catzim, Carlos Enrique, Grimaldo Juárez, Onécimo, Avilés Marín, Silvia Mónica, y Lozano del Río, Alejandro Javier. (2020). *Rendimiento de biomasa y grano en variedades de triticale en el valle de Mexicali.* Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(5), 1097-1109. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2293.

Yang Y, Tilman D, Jin Z, Smith P, Barrett CB, Zhu YG, Burney J, D'Odorico P, Fantke P, Fargione J, Finlay JC, Rulli MC.(2024).C*limate change exacerbates the environmental impacts of agriculture*. Science. 385(6713). https://doi.org/10.1126/science.adn3747

Panek, E., y Gozdowski, D. (2020). *Analysis of relationship between cereal yield-yNDVI for selected regions of Central Europe based on MODIS satellite data.* Remote Sensing Applications: SocietyyEnvironment, 17. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100286

Capítulo **111**

Tetranychus Merganser boudreaux (*Acari: tetranychidae*) plaga potencial para la agricultura en el estado de Tamaulipas, México

Hernández Meléndez Paola Elizabeth[1]
Chacón Hernández Julio César[1*]
Ramírez Barrón Sonia Noemí[2]
Rocandio Rodríguez Mario[1]
Mora Ravelo Sandra Grisell[1]
Villagomez Gonzalez Kathya Fernanda[1]

[1] Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Victoria 87120, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. * jchacon@docentes.uat.edu.mx.
[2] Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No.1923, Colonia Buenavista 25315, Saltillo, Coahuila, México.

Resumen

El ácaro rojo, *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae), es una plaga que se ha expandido tanto geográficamente como en el número de sus plantas hospederas, a menudo en condiciones ambientales adversas. Dentro de los ácaros plaga, se considera la más perjudicial para el cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.). La tasa intrínseca de crecimiento (r_m) es un indicador de la oviposición, supervivencia y la ingesta de alimento, los cuales están influenciados por la temperatura y la planta hospedera. La propuesta de este trabajo fue relacionar la r_m con plantas hospederas de *T. merganser*, además de las temperaturas en tres municipios productores de papaya (Altamira, González y Llera) en el Estado de Tamaulipas. De acuerdo con los resultados obtenidos, existe una relación entre la r_m y la temperatura de los tres municipios de Tamaulipas, aunque intervienen una serie de factores que influyen en la misma. *T. merganser* puede hospedarse en 17 plantas; sin embargo, la tasa intrínseca presenta diferencias de $r_m = 0.161$ respecto al hospedero por excelencia y $r_m = 0.012$ en el cultivo de frijol. En conclusión, la zona noreste de Tamaulipas y los registros de temperaturas son idóneos para que el ácaro prolifere y probablemente se comporte como una plaga potencial.

Introducción

El estado de Tamaulipas cuenta con 80 249 km² de superficie, dentro de la cual se cultivaron 1 328 016 ha designadas a cultivos de importancia alimentaria (INEGI, 2022). Es el noveno productor a nivel nacional de *Carica papaya* L., cuyo consumo anual per cápita es de 7.3 kg (SADER-SIAP, 2024), destacando el municipio de Altamira con una superficie de siembra de 190 ha y produce 13 119.50 t de papaya; Gonzáles, 106 ha, 6,382 t; y Llera, 82 ha, 1 244.88 t. Los tres municipios generan una derrama económica de $231 140.67 (DG-SIAP, 2024). Sin embargo, la producción de papaya enfrenta limitaciones por plagas, principalmente por los ácaros de la familia *Tetranychidae*, que dependen

de la calidad de su planta hospedera y factores ambientales (Sá-Argolo, 2012). *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) se distribuye en China, México, Estados Unidos, Tailandia (Migeon y Dorkeld, 2025) e India (Samanta et al., 2024). Este ácaro perjudica al cultivo de papaya a lo largo del golfo de México (Alfaro-Valle et al., 2022). La tasa intrínseca de crecimiento (r_m) resume las características biológicas y fisiológicas de los artrópodos, y puede ser asimilada a los ácaros que evalúan la capacidad de incremento poblacional. Para determinar si *T. merganser* puede ser una plaga potencial para el cultivo de papaya en Tamaulipas, esta investigación tuvo como objetivo relacionar la r_m de *T. merganser* y sus plantas hospederas, así como las temperaturas en tres municipios productores (Altamira, González y Llera) del cultivo de papaya en el Estado de Tamaulipas.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión en Web Of Science y en la base de datos de Migeon y Dorkeld (2025) para identificar las plantas hospederas reportadas para *T. merganser* y posteriormente verificadas en los artículos científicos donde fueron reportadas. Además, se utilizaron palabras clave, tales como tablas de vida, parámetros demográficos y biológicos, tasa intrínseca de crecimiento (r_m), temperatura, humedad relativa para localizar artículos que hayan reportado el efecto de la temperatura sobre la r_m de *T. merganser*.

Después de la revisión de literatura, se registraron las r_m de *T. merganser* reportadas a temperaturas iguales o próximas a las calculadas de los tres municipios productores de papaya. Los promedios de las temperaturas mínima, promedio y máxima de los tres municipios para los años del 2022 al 2023 fueron obtenidos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Se utilizó el método de correlación de Pearson para conocer el grado de asociación entre la r_m y sus plantas hospederas, la r_m y la temperatura promedio de cada municipio. La dinámica poblacional de *T. merganser* se analizó mediante una regresión lineal, donde la variable explicada fue la r_m y la variable explicativa las plantas hospederas. La r_m utilizada para este análisis es de los reportes que documentaron las r_m de *T. merganser* cuando fueron alimentadas con plantas hospederas a temperaturas que oscilaron de 24 a 30°C. Todos los análisis se realizaron en el programa R Core Team (2025).

Resultados y discusión

Tetranychus merganser es un ácaro plaga devastador y su planta hospedera por excelencia es la papaya (Reyes-Pérez et al. 2013) y la temperatura óptima para su crecimiento oscila entre 25 y 35 °C con 65±5 % de humedad relativa (Ullah et al., 2011), lo cual es idóneo para que este ácaro pueda ser considerado una plaga potencial para los municipios productores de papaya. Sin embargo, el ácaro rojo puede proliferar en un amplio rango de temperaturas (Ullah et al., 2011; Reyes-Pérez et al., 2013), por lo que ha logrado hospedarse en una amplia gama de plantas (Hernández-Meléndez et al., 2025). *T. merganser* se hospeda en 22 especies botánicas agrupadas en 17 familias (Cuadro 1). En México se encuentra el 75 % de estas plantas, afectando tres ejes fundamentales: agrícola, ornamental y ruderal nativo. *T. merganser* cuenta con 17 hospederos reportados en el estado de Tamaulipas distribuidos a lo largo de los 43 municipios que conforman la entidad federativa. Cabe señalar que la vegetación ruderal nativa funge como reservorio para muchas especies de ácaros (Hernández-Meléndez et al., 2025), lo que facilita alcanzar el umbral económico y generar efectos negativos en las líneas de producción agroalimentaria de los mexicanos. Al respecto, Lima-Espíndola y Vanegas-Rico (2017) reportaron que *T. merganser* causa daños por su alimentación, lo que provoca una disminución en el rendimiento y ocasiona pérdidas económicas de 586 ± 234 dólares por ha en el cultivo de nopal.

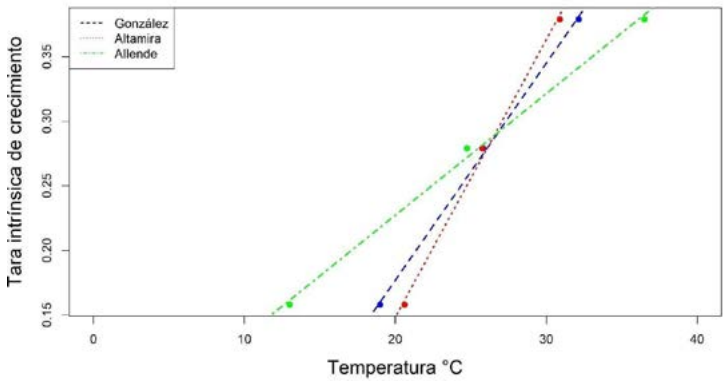
Cuadro 1. *Plantas hospederas a nivel mundial de Tetranychus merganser.*

Familia	Especie	Nombre común	Ubicación	Importancia
Araceeae	*Xanthosoma robustum*	Hoja elefante	USA	Ornamental
Arecaceae	*Areca catechu*	Nuez de areca	India	Agrícola
Asteraceae	*Tagetes erecta*	Cempazúchitl	México	Agrícola
Apocynaceae	*Thevetia ahouai*	Huevos de tigre	México	Ornamental
Cactaceae	*Opuntia ficus-indica*	Nopal verdura	México	Agrícola
Caricaceae	*Carica papaya*	Papaya	México	Agrícola
Cucurbitaceae	*Cucurbita maxima*	Calabaza	México	Agrícola
Euphorbiaceae	*Manihot esculenta*	Yuca	Tailandia	Agrícola
Fabaceae	*Arachis hipogaea*	Cacahuate	México	Agrícola
	Phaseolus vulgaris	Frijol	México	Agrícola
	Acacia farnesiana	Huizache	México	Ornamental
Gentianaceae	*Eustoma grandiflorum*	Lisianthus	México	Ornamental
Moringaceae	*Moringa oleífera*	Moringa	México	Agrícola
Oleaceae	*Ligustrum vulgare*	Treno	EUA	Ornamental
Oxalidaceae	*Oxalis corniculata*	Vinagrillo	México	Ruderal nativa
Pittosporaceae	*Pittosporum tobira*	Azahar de la China	México	Ornamental
Ranunculaceae	*Thalictrum sp*	Prado morado	China	Ornamental
Rosaceae	*Rosa Hybrida*	Rosal	México	Ornamental
	Capsicum annuum var dulce	Chile dulce	México	Agrícola
	Capsicum annuum var.			
Solanaceae	*Glabriusculum*	Chile piquín	México	Agrícola
	Solanum nigrum	Tomatillo	México	Ruderal nativa
	Solanum rostratum	Mala mujer	México	Ruderal nativa

El método de Pearson mostró una fuerte correlación entre la r_m de *T. merganser* y el promedio de las temperaturas mínima, promedio y máxima de los tres municipios de Tamaulipas (Altamira: $r = 0.9985$, $t = 18.228$, $gl = 1$, $p = 0.03489$; Llera: $r = 0.9984$, $t = 18.228$, $gl = 1$, $p = 0.03489$; González: $r = 0.9995$, $t = 30.401$, $gl = 1$, $p = 0.02093$) (Figura 1). Sin embargo, existen otros factores que influyen en la r_m de los ácaros tetraníquidos, como la cepa de la especie del ácaro, la calidad nutricional y metabolitos secunda-

rios de la planta hospedera, metodología experimental, metodología de cría de la colonia del ácaro, humedad relativa y fotoperiodo (Wermelinger et al., 1991; Ullah et al., 2011; Reyes-Pérez et al., 2013; Alizade et al., 2016; Karely et al., 2016; Ismal et al., 2017; Heinz-Castro et al., 2021). Ullah et al. (2011) reportaron que la temperatura afecta de manera directa a las funciones biológicas de los ácaros tetraníquinos, repercutiendo en aspectos poblacionales de esta plaga. Por lo que, en los tres municipios, existen las condiciones ambientales para que *T. merganser* prolifere y posiblemente se comporte como plaga potencial, lo que impactaría perjudicialmente a los sectores productivos en caso de no ser controlado de manera eficiente.

Figura 1. *Asociación de rm y temperatura de Altamira, Llera y Gonzales.*



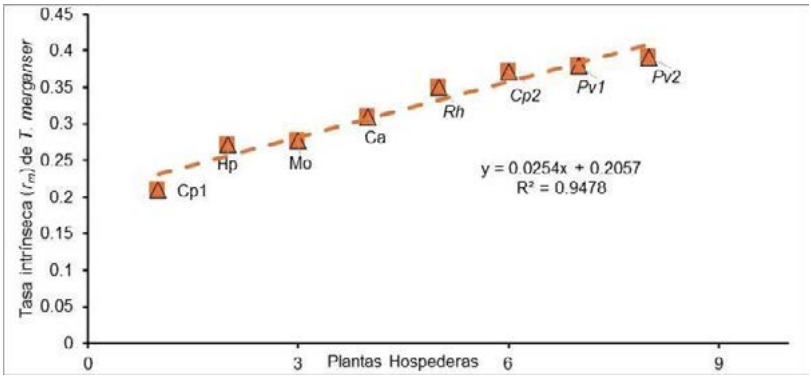
Fuente: Elaborada con datos de Ullah et al. (2011) y CONAGUA 2022-2023.

En la revisión de literatura se encontraron ocho registros de la r_m de *T. merganser* alimentándose de diferentes plantas hospederas a temperaturas que oscilaron de 27 a 30°C. La Figura 2 muestra que la r_m de *T. merganser* está en función de la planta hospedera. Al respecto, Wermelinger et al. (1991) documentaron que plantas ricas en aminoácidos y carbohidratos son determinantes en el rendimiento de la población de ácaros tetraníquidos. Ali et al. (2015) demostraron que los carbohidratos en las hojas de tomate incrementan la tasa de crecimiento poblacional de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Mientras que Puspitarini et al. (2021) mencionaron que *T. urticae* se desarrolla más rápido sobre plantas hospederas ricas en

carbohidratos como los cultivares de fresa y papaya. Wermelinger et al. (1991) mencionaron que los ácaros tetraníquidos muestran una rm alta si la planta hospedera es rica en nitrógeno, fósforo y potasio. Estos mismos autores documentaron que la r_m de *T. urticae* se correlacionó negativamente con los compuestos fenológicos presentes en las hojas de manzana. Mientras que Vásquez et al. (2008) reportaron una relación negativa entre la oviposición de *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychidae) y el contenido de flavonoides de los cultivares de uva, lo que afecta negativamente a la r_m del ácaro tetraníquido.

Por otro lado, se observó que, al aumento de 1°C, la r_m de *T. merganser* se incrementó en el cultivo de papaya, ya que Reyes-Pérez et al. (2013) obtuvieron una $r_m = 0.21$ a 27°C, mientras que Segura-Martínez et al. (2023) reportaron $r_m = 0.371$ a 27 ± 1 °C, existiendo una diferencia de $r_m = 0.161$. Lo mismo se puede detectar en el cultivo de frijol, debido a que Segura-Martínez et al. (2023) estimaron la r_m en 0.391 a 27 ± 1 °C y Ullah et al. (2011) obtuvieron una $r_m = 0.379$ a 30°C, detectando rm =0.012. Esto coincide con lo que Treviño-Barbosa et al. (2022) mencionaron, que la especie de planta hospedera, calidad y método de cría, al igual que la cepa y ubicación geográfica del ácaro, como los factores ambientales, afectan la r_m de *T. merganser*. Asimismo, Ullah et al. (2011) y Reyes-Pérez et al. (2013) reportaron que la rm de *T. merganser* se incrementa con el aumento de la temperatura, entre 15 a 35°C y entre 16 a 31°C, respectivamente. Esto sugiere que el ácaro rojo tiene la capacidad de ajustarse a las temperaturas registradas en Altamira (20.60 a 30.89°C), González (18.98 a 32.14°C) y Llera (13.00 a 36.5°C).

Figura 2. *Relación entre plantas hospederas y tasa intrínseca de crecimiento de Tetranychus merganser.*



Fuente: Datos extraídos de Segura-Martínez et al. (2023), Ullah et al. (2011) y Reyes-Pérez et al. (2013).

Cp1=Carica papaya1, Hp= Helietta parvifolia, Mo= Moringa oleífera, Ca= Capsicum annuum var. Glabriusculum, Rh= Rosa hybrida, Cp2= Carica papaya2, Pv1= Phaseolus vulgaris1, Pv2= Phaseolus vulgaris2.

Conclusiones

Debido a la preferencia de *T. merganser* por la planta de papayo y a la asociación entre la r_m de *T. merganser* y la temperatura de los municipios productores de papaya (Altamira, Gonzáles y Llera), *T. merganser* puede establecerse y comportarse como una plaga potencial dentro de la zona noreste de México. Sin embargo, se requieren más estudios *in situ*, así como evaluar el daño y la pérdida económica causada por *T. merganser*. Así como determinar los parámetros demográficos y biológicos del ácaro bajo condiciones de laboratorio, identificar y correlacionar los nutrientes y metabolitos secundarios presentes en las plantas de papayo con la alimentación y tablas de vida de *T. merganser*.

Referencias

Alfaro-Valle, E., A.G. Martínez-Hernández, G. Otero-ColinayJ. Lara-Reyna. (2022). *High susceptibility of Tetranychus merganser (Acari: Tetranychidae), an emergent pest of the tropical crop Carica papaya, towards Metarhizium anisopliae s.lyBeauveria bassiana strains.* PeerJ 10, 1-23. https://peerj.com/articles/14064/

Ali, F.S., Afifi, A.M., El-Saiedy E. M. A, Ahmed M. M. (2015). *Effect of phytochemical components, morphologicalyhistological leaf structure of five tomato hybrids on Tetranychus urticae Koch infestation.* Acarines. 9, 23–30.

Alizade , M., M. Hosseini , M. M. Awal, M. Goldani, A. Hosseini. (2016). *Effects of nitrogen fertilization on population growth of two-spotted spider mite.* SystematicyApplied Acarology 21, 947-956. http://doi.org/10.11158/saa.21.7.8

Comisión Nacional del Agua. (2025). *Servicio Meteorológico Nacional-SNM.* SMN General.

Dirección General del Servicio de Información y Pesquera (DGSIAP). (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.* Fecha de consulta: Junio, 2025.

Heinz-Castro R.T.Q, R. Arredondo-Valdés, S. Ordaz-Silva, H. Méndez-Cortés, A. Hernández-JuárezyJ.C. Chacón-Hernández. (2021). *Bioacaricidal Potential of Moringa oleifera Ethanol Extract for Tetranychus merganser Boudreaux (Acari: Tetranychidae)* Control. Plants-Basel 10.

Hernández-Meléndez, P. E., Chacón-Hernández, J. C., Ramírez-Barrón, S. N., Rocandio-Rodríguez, M., Mora-Olivo, AyVillagómez-González, K. F. (2025). *New Record of Tetranychus merganser (Acari: Tetranychidae) on Oxalis curniculata (Oxalidaceae) in Northeastern Mexico.* Journal of Entomological Science. En prensa.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022).CENSO AGROPECUARIO 2022 RESULTADOS OPORTUNOS DEL ESTADO DE TAMAULIPAS.

Islam, M.T., Jahan, M., Gotoh, T., y Ullah, M.S. (2017). *Host-dependent life historyylife table parameters of Tetranychus truncatus (Acari:Tetranychidae).* SystematicyApplied Acarology, 22(12), 2068–2082. https://doi.org/10.11158/saa.22.12.4

Karley, A.J., Mitchell1, C., Brookes, C., McNicol, J., O'Neill, T., Roberts, H., Graham, JyJohnson, S.N. (2016). E*xploiting physical defence traits for crop protection: Leaf trichomes of Rubus idaeus have deterrent effects on spider mites but not aphids.* Ann of Applied Biology, 168, 159–172.

Lima-Espíndola, J. y Vanegas-Rico, J. (2017). *Damage caused by Tetranychus Merganser Bondreaux (Acari: Tetranychidae) on Nopal Verdura Opuntia Ficus-Indica (L.) Miller during winter.* Journal of EntomologicalyAcarological Research 49. https://doi.org/10.4081/jear.2017.6281

Maia, A.H.N., LuizyA.J.B. y Campanhola, C. (2000). S*tatistical influence on associated fertility life table parameters using jackknife technique: Computational aspects.* Journal of Economic Entomology. 93, 511–518.

Migeon, A y Dorkeld, F. (2024). *Spider Mites Web: una base de datos complete para los Tetranychidae.* https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/spmweb. Fecha de consulta: septiembre de 2024.

Puspitarini, R.D., Fernando, I., Rachmawati, R., Hadi, M. S. y Rizali, A. (2021). *Host plant variability affects the developmentyreproduction of Tetranychus urticae.* International Journal of Acarology 47, 381-386. https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1915377

R Core Team (2025). *R: A LanguageyEnvironment for Statistical Computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

Reyes-Pérez, N., J. Villanueva J, M. De la cruz V, H. Cabrera M y G. Otero C. (2013). *Parámetros poblacionales de Tetranychus merganser Boudeaux (Acari:Tetranychidae) en papayo (C. papaya L.) a diferentes temperaturas.* México. Agrociencia 47:147-157.

Sá-Argolo,P. (2012). *Gestión integrada de la araña roja Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae): optimización de su control biológico en clementinos.* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. 140.

Samantha S., Karmakar K. y Ueckermann, E. A. (2024). *New recordsyre-description of Tetranychus merganser Boudreaux, 1954 y Tetranychus megauncinatus FeresyFlechtmann, 1986 (Acari: Tetranychidae) from West Bengal, India.* Records of the Zoological Survey of India,124(1), 25-32.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SADER-SIAP). (2024). *Panorama Agroalimentario: La ruta de la transformación agroalimentaria 2018-2024.* México. 210.

Segura-Martínez, M. T., Ordaz-Silva, S.; Hernández-Juárez, A., Heinz-Castro, R. T. Q., Mora Ravelo, S. G y Chacón-Hernández, J. C. (2023). *Life Table Parameters of Tetranychus merganser Boudreaux (Acari: Tetranychidae) on Five Host Plants.* Insects, 14, 473. https:// doi.org/10.3390/insects14050473

Treviño-Barbosa, G., Ordaz-Silva, S., Gaona-García, G.; Hernández-Juárez, A., Mora-Ravelo, S. G., Chacón Hernández, J. C. (2022) *The*

resistance of seven host plants to Tetranychus merganser Boudreaux (Acari: Tetranychidae). Insects, 13, 167. https://doi.org/10.3390/insects13020167

Ullah, M. S., D. Morilya, M. H.Badii, G. Nachman y T. Gotoh. (2011). *A comparative study of developmentydemographic parameters of Thetranychus merganseryTetranychus kanzawai (Acari: Tetranychidae) at different temeratures.* ExperimentalyApplied Acarology 54, s1-19. https://doi.org/10.1007/s10493-010-9420-6

Vásquez C., O., Aponte, J., Morales, M.E., Sanabria, G. García. (2008). *Biological studies of Oligonychus punicae (Acari: Tetranychidae) on grapevine cultivars.* ExperimentalyApplied Acarology 45,59–69. https://doi.org/10.1007/s10493-008-9154-x.

Wermelinger, B., J. J. Oertli, J. Baumgäirtner. (1991). *Environmental factors affecting the life-tables of Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae).* III. Host-plant nutrition. ExperimentalyApplied Acarology 12, 259-274. https://doi.org/10.1007/bf0119347

Innovación biotecnológica: retos y oportunidades en la agricultura moderna
Se terminó de editar en agosto de 2026
en los talleres gráficos de Astra Ediciones
Av. Acueducto 829, Colonia Santa Margarita, C. P. 45140,
Zapopan, Jalisco
E-mail: edicion@astraeditorial.com.mx
www.astraeditorialshop.com

Los capítulos presentados corresponden a los temas presentados en la **Vigésima Octava Edición del Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas 2025**, que tiene como objetivo abordar los principales aspectos de innovación biotecnológica en las ciencias agrícolas y áreas afines, así como acercar el conocimiento a través del intercambio de experiencias, como resultado de trabajos e investigaciones científicas propuestas y desarrolladas por los diferentes sectores científicos, públicos y privados.

ISBN: 979-13-88349-33-1

Consulta y descarga

astra editorial