Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Plantas del Desierto Chihuahuense: Aliados en la Lucha Contra Microorganismos Fitopatógenos

Chihuahuan Desert Plants: Allies in the Fight Against Phytopathogenic Microorganisms

Dávila-Medina, M.D.[1], Medina-Morales, M.A.[1], Ríos-González, L.J.[1], Arredondo-Valdés, R.[1], Laredo-Alcalá, E.I.[2], Flores-Olivas, A.[3], Cruz-Requena, M.[3]*

[1] Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. V. Carranza e Ing. José Cárdenas V. s/n. Col. República Ote, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25280. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8897-0375, https://orcid.org/0000-0002-7142-6063, https://orcid.org/0000-0002-3398-8014, https://orcid.org/0000-0003-4093-0707.
[2] Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila, Universidad Autónoma de Coahuila. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0957-787X.
[3] Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25315. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5641-4064, https://orcid.org/0000-0002-6146-6010*.
desireedavila@uadec.edu.mx; miguel.medina@uadec.edu.mx; leopoldo.rios@uadec.edu.mx; r-arredondo@uadec.edu.mx; elan_laredo@uadec.edu.mx; aflooli50@gmail.com; marisolcrequena@gmail.com*

Innovación tecnológica: Revisión de información actual y relevante sobre la aplicación de extractos de plantas sobre diferentes microorganismos fitopatógenos.

Área de aplicación industrial: Agrícola, microbiología, alimentaria, biotecnológica.

Recibido: 16 mayo 2025
Aceptado: 26 junio 2026

Abstract

The Chihuahuan Desert boasts a wide variety of plant species, such as creosote bush (*Larrea tridentata), hojasen (Flourensia cernua*), and lechuguilla agave (*Agave lechuguilla*), which have adapted to the harsh climatic conditions characteristic of this region. One of the keys to these plants' survival has been the synthesis of various secondary metabolites, including polyphenols, terpenes, and flavonoids. These compounds protect the plants from abiotic and biotic factors, enabling their adaptation to their environment. Due to their biological properties, these secondary metabolites, also known as bioactive compounds, have found diverse applications in various fields, such as agriculture, where their antimicrobial activity against several genera of phytopathogenic fungi and bacteria has been established. This literature review was conducted through a systematic search of Google Scholar, PubMed, SciELO, and Scopus databases, using

keywords such as microbiology, bioactive compounds, and plants of the Chihuahuan Desert. The objective of this review is to describe the potential of bioactive compounds present in plants of the Chihuahuan Desert as antagonists of the main phytopathogenic microorganisms, with a focus on their potential sustainable utilization for developing eco-friendly phytosanitary control strategies, both regionally and globally.
Key words: Bioactive components, Phytopathogenic microorganisms, Plant extracts.

Resumen

El desierto Chihuahuense (DC) posee una amplia variedad de especies vegetales como la gobernadora (*Larrea tridentata*), hojasén (*Flourensia cernua*) o Agave lechuguilla (*Agave lechuguilla*) que se han adaptado a las condiciones climáticas adversas que caracterizan a esta zona. Una de las claves para la supervivencia de estas plantas ha sido la síntesis de diferentes metabolitos secundarios como polifenoles, terpenos y flavonoides, los cuales protegen a la planta de factores abióticos y bióticos lo que ha permitido su adaptación al medio donde se desarrollan. Debido a sus propiedades biológicas, los metabolitos secundarios, también conocidos como compuestos bioactivos, han tenido diversas aplicaciones en diferentes áreas como la agrícola, en donde se ha establecido la actividad antimicrobiana de estas moléculas sobre diversos géneros de hongos y bacterias fitopatógenas. Este trabajo de revisión de literatura se llevó a cabo mediante búsqueda sistemática de información a través de la base de datos de Google Scholar, PubMed, SciELO, Scopus, utilizando palabras clave como microbiología, compuestos bioactivos, plantas del desierto Chihuahuense. El objetivo de este documento de revisión es describir el potencial que poseen los compuestos bioactivos presentes en las plantas del desierto Chihuahuense como antagonistas de los principales microorganismos fitopatógenos, con enfoque en el potencial aprovechamiento sustentable para el desarrollo de estrategias de control fitosanitario más sostenibles, tanto a nivel regional como global.

Palabras clave: Componentes bioactivos, extractos de plantas, microorganismos fitopatógenos.

Introducción

El desierto Chihuahuense (DC) se caracteriza por ser una región seca con una gran riqueza de flora y fauna, misma que se extiende por una amplia zona de Norteamérica, abarcando los estados de Durango, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí en México, así como Nuevo México, Texas y Arizona en Estados Unidos de América (Granados-Sánchez et al., 2011). Dentro de la flora del DC destacan algunas especies como algunas pertenecientes al género agave (*Agave lechuguilla*, *Agave atrovirens*, *Agave salmiana*), hojasén (*Flourencia cernua*), nopal (*Opuntia sp*), palma del desierto (*Yucca carnerosana*), mezquite *(Prosopis spp.*), gobernadora *(Larrea tridentata*), orégano (*Lippia spp*), entre otras. Estas especies y algunas otras han sido empleadas desde tiempos remotos por las personas que habitan la región como fuente de alimento, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, forraje, material de construcción de casas, medicina, fibras textiles, decoración, y diversas aplicaciones industriales (Palomo-Ligas et al., 2022).

Por otra parte, el clima de esta región es árido y con escasa precipitación pluvial, además de altas temperaturas, lo que genera condiciones climáticas extremas para las especies vegetales de la región (Ochoa et al., 2023). Las condiciones climáticas extremas del DC aunadas a la presencia e interacción con la vida animal típica de la zona y la exposición a especies reactivas de oxígeno del medio ambiente, subproductos del metabolismo del oxígeno como radicales y moléculas inorgánicas altamente reactivas, propician que las plantas nativas del DC produzcan diversidad de metabolitos secundarios como flavonoides, fenoles, taninos, saponinas, terpenos, catequinas, antocianinas, entre otros, principalmente en la parte aérea (flores, hojas, tallos) así como algunas raíces, cuya función es proteger a la planta frente a dichas condiciones (Cándido del Toro et al., 2023; Torres-León et al., 2023).

El estudio y potencial aplicación de los compuestos bioactivos presentes en la flora del DC se ha investigado en áreas como la farmacéutica, médica, alimentaria y agronómica (Palomo-Ligas et al., 2022), siendo esta última de un interés creciente debido a la búsqueda de aditivos y productos orgánicos y naturales que se puedan aplicar tanto en el campo como en postcosecha y que no sean dañinos para el medio ambiente, ya que se ha determinado que estas moléculas poseen un efecto antimicrobiano lo que conlleva a que extractos obtenidos de diversas fuentes vegetales posean el potencial para su aplicación como biopesticida y/o antagonistas de fitopatógenos (Steglińska et al., 2022). El objetivo de este trabajo de revisión es conjuntar la información que se tiene hasta el momento sobre la aplicación de los compuestos bioactivos de plantas del DC en el control biológico de diferentes patógenos de cultivos de gran importancia para esta región.

Metodología

Para la elaboración del presente documento, se realizó una búsqueda sistemática de información siguiendo una ruta metodológica rigurosa que garantizara la relevancia de las fuentes consultadas. La recolección de información se realizó a través de la base de datos de Google Scholar, PubMed, SciELO, Scopus, las cuales fueron seleccionadas por su alto impacto en el área de microbiología, compuestos bioactivos y biotecnología. Se utilizaron términos de búsqueda como componentes bioactivos, extractos de plantas, microorganismos fitopatógenos, plantas de desierto Chihuahuense. Por otra parte, el periodo de búsqueda se enfocó en el análisis artículos publicados entre los años 2000-2025, priorizando aquellos publicados durante los últimos 5 años. Se incluyeron artículos originales y revisiones de literatura. Finalmente, el total de artículos analizados quedó conformada por 109 artículos.

Principales microorganismos fitopatógenos

Uno de los grandes problemas en la agricultura mundial, responsables de pérdidas de entre 20 y 40 % de los alimentos producidos durante el cultivo, transporte y almacenamiento, además de afectar la calidad del producto, son las enfermedades causadas por diferentes microorganismos fitopatógenos (Bolívar-Anillo et al., 2020; Hernández-Montiel et al., 2021). La incidencia de estas enfermedades varía según el cultivo; por ejemplo, en maíz, arroz y papa se han reportado pérdidas de entre 17 y 40 %, mientras que en frutas las pérdidas en postcosecha superan el 50% (Saldaña-Mendoza et al., 2023). Asimismo, el impacto de fitopatógenos en los cultivos varía alrededor del 83% de las enfermedades son causadas por hongos, 9% por virus y fitoplasmas y 7% por bacterias (Khakimov et al., 2022). En la siguiente sección se describen algunas de las principales especies

de hongos y bacterias fitopatógenas de importancia agrícola y sus mecanismos de acción.

Hongos fitopatógenos

Dentro de los principales hongos fitopatógenos se tienen a diferentes especies de los géneros *Fusarium* y *Alternaria*, además de las especies como *Blumeria graminis, Botrytis cinérea, Colletotrichum spp., Mycosphaerella graminícola, Ustilago maydis*, los cuales causan diferentes enfermedades a través de diversos mecanismos complejos entre planta/cultivo y patógeno (Pacios-Michelena et al., 2021). En términos generales, los mecanismos inician con la invasión del hongo a la planta, misma que se da en 4 etapas: adhesión a la superficie del hospedador, invasión, colonización y expansión dentro del huésped (Li et al., 2022). Una vez que el patógeno se instala en la planta se da inicio a la producción de diversas toxinas que generan daño a las plantas, estas moléculas generalmente atacan a la membrana celular, mitocondria y cloroplastos, interfiriendo de esta manera con su metabolismo. Otro mecanismo de acción es a través de la promoción de desórdenes fisiológicos, muerte celular y posterior muerte de la planta mediante la inhibición de síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, derivando en diferentes síntomas como marchitez, pudrición de los diferentes tejidos como tallo, raíz, hojas y frutos (Li et al., 2022; Peng et al., 2021).

Recientemente se han estudiado mecanismos de acción de los hongos fitopatógenos a través de la generación de especies reactivas de oxígeno, moléculas implicadas en el estrés oxidativo de los organismos. Este mecanismo se basa en la liberación y acumulación de una amplia cantidad de especies reactivas de oxígeno del hongo fitopatógeno los cuales se acumulan en las puntas de las hifas o alrededor de la pared celular penetrada durante el proceso infeccioso, favoreciendo el proceso de infección y proliferación del hongo sobre la planta (Zhang et al., 2020). Sin embargo, cada género fúngico presenta diversos mecanismos de acción, los cuales han evolucionado y se han adaptado a diversos cultivos, generando a su vez diversas maneras de invadir los tejidos vegetales y proliferar. Estos mecanismos de infección representan blancos fisiológicos clave para la acción de compuestos bioactivos de origen vegetal, particularmente aquellos capaces de alterar la integridad de las membranas, la actividad enzimática y el equilibrio redox del patógeno.

Fusarium oxysporum

Entre los numerosos microorganismos fúngicos que afectan a los cultivos destinados a la alimentación humana o animal, *Fusarium spp*. se encuentra en la mayoría de los entornos y es el patógeno fúngico de plantas más frecuentemente aislado. Este hongo puede infectar a las plantas a través de las raíces y bloquear el transporte de agua y nutrientes. Los síntomas incluyen el amarillamiento, marchitamiento y secado de las hojas, así como la decoloración del sistema vascular: El hongo puede sobrevivir en el suelo por varios años y se favorece por condiciones de temperatura cálida, humedad alta y suelo ácido (Vásquez Ramírez y Castaño Zapata, 2017).

Este hongo es un patógeno transmitido por el suelo, tiene la capacidad de infectar un gran número de cultivos destacando el tomate, pimientos, chile, plátano, calabaza entre otros. Este hongo fitopatógeno ha sido ampliamente caracterizado a nivel molecular revelando la presencia de diversas enzimas como proteasas y xilanasas que tienen la capacidad de degradar la pared celular de las plantas permitiendo de esta manera la entrada del patógeno (Neg et al., 2022). Existen a su vez subespecies de este hongo que se han

clasificado de acuerdo al cultivo al que atacan. Por ejemplo, el hongo específico para el tomate se denomina *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*, mismo que causa síntomas de podredumbre a la corona y raíz de la planta a través de la invasión que va desde la zona de la raíz y se desplaza a través del xilema, donde bloquea los vasos después de producir enzimas y toxinas, provocando amarillamiento, marchitamiento y muerte de la planta, el tejido vascular del tallo se vuelve marrón en las plantas infectadas (Li et al., 2023). Por otro lado, la subespecie *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*, agente etiológico de la marchitez en banano, una enfermedad destructiva para este cultivo y la cual a su vez se divide en 4 razas fisiológicas de acuerdo a la susceptibilidad del cultivo. Una de estas razas (raza tropical 4) reportada como la mas destructiva comienza su infección con la propagación de las hifas fúngicas por la raíz para posteriormente colonizar los vasos xilemáticos de la raíz, extendiéndose hacia el rizoma y el pseudotallo y se prolifera en el tejido vascular lo que provoca la interrupción de la translocación de agua, causando los síntomas de marchitez como clorosis del follaje, división longitudinal del pseudotallo, necrosis y muerte final de las plantas (Chen et al., 2024). Una vez que la planta muere, las esporas asexuales se forman en el tejido del huésped liberándose al suelo, donde esperan la oportunidad para infectar a otra planta y empezar el ciclo nuevamente (Vidha et al., 2024).

Alternaria spp.

Las especies del género *Alternaria* spp. causan enfermedades importantes en cultivos hortícolas y frutas como cereales, algodón, zanahorias, tomates, papas, manzanas, uvas, algunas semillas, cítricos, pepinos, pimientos, entre otros (Lee etal., 2015). De este género de microorganismos fitopatógenos destacan *A. solani* y *A. alternata*, especies patógenas causantes del tizón temprano en tomate y la mancha marrón en papa, respectivamente (Schmey et al., 2024). En términos generales, la patogénesis de *Alternaria* spp. Las enfermedades causadas por *Alternaria* spp. se caracterizan por lesiones necróticas asociadas a la producción de toxinas fúngicas. Estas toxinas, tanto selectivas como no selectivas del huésped, alteran procesos metabólicos y la integridad celular de los tejidos vegetales. La inhibición de estos mecanismos mediante compuestos fenólicos y flavonoides de origen vegetal ha sido reportada como una estrategia prometedora para el control de *Alternaria* spp. (Wang et al., 2022; Fernandes et al., 2023).

Botrytis spp.

Botrytis spp. pertenece al género *Botryotinia*. A este género pertenecen los hongos ascomicetes que afectan de forma primaria a las flores, los frutos, las hojas y los bulbos de una especie. Dentro de las principales especies de este género se encuentra *Botrytis cinérea*, un hongo fitopatógeno necrotrófico responsable del moho gris, una de las fitopatologías con mayor impacto en la horticultura y la fruticultura. Su patogenicidad se basa en la secreción de enzimas hidrolíticas y factores de virulencia que inducen la muerte celular del huésped, facilitando la colonización del tejido vegetal. Estos mecanismos convierten a *B. cinerea* en un objetivo adecuado para compuestos bioactivos con capacidad de alterar membranas celulares y procesos oxidativos. Estos son capaces de sobrevivir en entornos hostiles, son organismos que generan apotecios con un alto potencial de producción de esporas (Holz et al., 2007).

Existen diferentes especies como *B. cinerea, B. pseudocinerea, B. fabae, B. pelargoniae, B. calthae, B. sinoviticola* y *B. californica*, que infectan principalmente plantas dicotiledóneas y en menor grado a plantas eudicotiledóneas y monocotiledóneas (Hyde

et al., 2014). *Botrytis cinerea* es la principal especie causante del "moho gris" o "podredumbre gris", es un patógeno necrotrófico que ataca a más de 200 especies vegetales, en especial se puede observar en cultivos hortícolas (fresas y uvas), y está catalogada como una de las fitopatologías de mayor impacto a nivel nacional e internacional (Boiteux et al., 2015). *B. cinerea* causa miles de millones de dólares anuales en daños a los cultivos, tanto antes como después de la cosecha, en diversos cultivos, desde ornamentales hasta hortalizas y frutas (Veloso y van Kan, 2018). Es un microorganismo altamente versátil que tiene la capacidad de obtener nutrientes de material vegetal muerto o senescente, pero también puede infectar tejidos vivos. Posee un amplio rango de hospedadores y es capaz de afectar cualquier tipo de órgano o tejido vegetal en todas las etapas de su desarrollo.

B. cinerea prefiere humedad alta y temperaturas moderadas (crecimiento nulo o deficiente por encima de 30 °C), su presencia en el campo se limita a las zonas de clima templado. Sin embargo, como patógeno postcosecha en frutas, hortalizas y flores almacenadas en frío, representa una amenaza mundial (Fillinger y Walker, 2016). Tras el contacto inicial con el hospedador, se han descrito dos fases distintas: una fase temprana, caracterizada por la formación de focos de infección local sin propagación, y una fase tardía, caracterizada por la producción de abundante biomasa fúngica y la propagación de las lesiones. La invasión de plantas hospedantes por *B. cinerea* puede empezar desde tejidos dañados o aberturas naturales, lo que permite que el hongo fije la infección, el micelio puede crecer penetrando en el carpelo e invadiendo los ovarios aún no desarrollados. Tras la infección inicial, *B. cinerea* entra en una fase necrotrófica agresiva, que se propone que sea desencadenada por cambios bioquímicos tales como un aumento en compuestos orgánicos volátiles, azúcar y contenidos de nitrógeno en los tejidos del huésped en maduración. Durante esta etapa, el hongo secreta factores de virulencia para alterar el metabolismo del huésped, el sistema inmunológico y la estructura celular. Los efectos se caracterizan por la descomposición de la fruta, resultando en el ablandamiento de la pulpa y una piel marrón. *B. cinerea* en sí experimenta un rápido crecimiento de micelios en las superficies de las plantas y forma masas masivas de conidios grises. Al mismo tiempo, el tejido vegetal adyacente puede infectarse, permitiendo la propagación del moho gris en toda la planta y a las plantas cercanas (Neri et al., 2015; Cheung et al., 2020).

Penicillium spp.

El género *Penicillium* spp., compuesto por más de 200 especies, es uno de los grupos de hongos más grandes abarcando especies endofíticas benéficas y especies consideradas como fuente importante de antibióticos (Nicoletti y Trincone, 2016; Toghueo y Boyom, 2020). Aunque el género *Penicillium* incluye especies con aplicaciones biotecnológicas, algunas especies como *P. digitatum* y *P. italicum* son importantes patógenos postcosecha, responsables de la podredumbre verde y azul en cítricos. Estos hongos infectan a través de heridas mecánicas y producen enzimas que degradan la pared celular del fruto, provocando su deterioro (Chen et al., 2019; Lin et al., 2019; Zhu et al., 2019). La susceptibilidad de estos patógenos a compuestos fenólicos y aceites esenciales vegetales ha sido ampliamente documentada, lo que respalda su control mediante extractos de plantas.

Estos patógenos son patógenos específicos de heridas que pueden infectar la fruta en la plantación, en la empacadora o durante la manipulación y el almacenamiento posterior. La fruta infectada presenta micelios blancos y

conidios verdosos, el micelio produce enzimas que descomponen las paredes celulares de la fruta e inician la contracción, lo que resulta en una forma momificada hundida, causando una mancha acuosa y blanda, y el fruto se pudre (Talibi et al., 2014).

Dentro de este género también se puede encontrar a *P. digitatum*, el cual produce alcaloides termogénicos, como la triptoquialanina A y la triptoquialanina C, que son micotoxinas dañinas con un riesgo potencial para la salud pública (Papoutsis et al., 2019; Costa et al., 2021). Así mismo el hongo *P. italicum* es un patógeno de tipo anidante que se propaga rápidamente en contenedores empacados para infectar frutas adyacentes, incluso a bajas temperaturas en almacenamiento en frío (Iqbal et al., 2017).

Bacterias fitopatógenas

De las 7100 especies bacterianas que se encuentran clasificadas, aproximadamente 150 causan pérdidas de diferentes cultivos a nivel mundial. Entre los síntomas que provocan se incluyen manchas, plagas, cancros y pudriciones de los tejidos (Costa Almeida et al., 2023). Los géneros bacterianos fitopatógenos que más se asocian a enfermedades de cultivos son *Pseudomonas, Acidovorax*, *Streptomyces*, *Phytoplasma, Xylella*, *Spiroplasma*, *Clavibacter*, *Burkholderia*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Pectobacterium*, *Pantoea*, *Agrobacterium, y Ralstonia* (Kannan et al., 2015).

En general las bacterias tienen una gran capacidad para desarrollar resistencia. Las estrategias que siguen estos microorganismos incluyen: uso de bombas de eflujo para desintoxicar la célula bacteriana, esporulación por bacterias Grampositivas, el uso de proteínas efectoras para alterar la fisiología de la planta huésped y suprimir sus mecanismos de defensa, desarrollo de biopelículas y la formación de células persistentes (Martins et al., 2018), resultando con ello la difícil tarea de erradicarlos de una manera adecuada.

Erwinia amylovora

Es una especie bacteriana causante del “fuego bacteriano”, enfermedad de importancia global y que infecta cultivos como manzana y pera. La entrada a la planta de este patógeno es a través de las flores y hojas, guiada generalmente por insectos vectores como moscas atraídas por el exudado, emulsión viscosa que contiene los agentes patógenos y sus factores de patogenicidad (Kharadi et al., 2021). Las siguientes etapas de invasión son infección de hojas en las puntas de los brotes, colonización del xilema e infección sistémica (Peng et al., 2021). Dentro de los factores de patogenicidad se encuentran los biofilms, exopolisacáridos compuestos principalmente por celulosa y glucosa, mismos que causan el bloqueo del transporte de agua y otros compuestos en el xilema de la planta, ocasionando marchitamiento y necrosis, síntomas más característicos de esta enfermedad (Kharadi y Sundin, 2021).

Clavibacter michiganensis

El tomate es uno de los cultivos que se ven afectados por diferentes bacterias fitopatógenas. Dentro de este grupo de patógenos se encuentra *Clavibacter michiganensis*, agente causal del cáncer bacteriano en esta planta. Al igual que *E. amylovora*, *C. michiganensis* coloniza sistemáticamente el xilema ocasionando marchitez, necrosis en las hojas, cancros en el tallo y posteriormente la muerte de la planta (Peritore-Galve et al., 2021). Esta invasión se lleva a cabo en el protoxilema en donde la bacteria se multiplica y produce exopolisacáridos y glicoproteínas que forman las biopelículas, disminuyendo de esta manera el flujo de agua, lo que ocasiona la

aparición de los diferentes síntomas característicos (Carezzano et al., 2023).

Alternativa de control biológico de fitopatógenos

En la actualidad existe una creciente tendencia en el uso de productos de origen natural, principalmente aquellos provenientes de diversas especies vegetales ricas en compuestos bioactivos, que han mostrado efectos positivos en diferentes áreas como la farmacéutica, alimentaria y la agrícola. En este último ámbito, dichos compuestos han demostrado actividad antimicrobiana, lo que ha impulsado en la formulación de biopesticidas como alternativas más sostenibles frente a los fungicidas sintéticos, los cuales se han asociado con efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente (Palmieri et al., 2022). Adicionalmente, los microorganismos fitopatógenos han desarrollado la habilidad de adaptarse al modo de acción de los fungicidas lo que ha resultado en una disminución progresiva de su eficacia y en la necesidad constante de reformular estos productos para mantener su uso comercial (Gillmeister et al., 2019).

Extractos vegetales

En términos generales, un extracto vegetal se define como el producto obtenido a partir de material vegetal mediante el uso de un disolvente y un proceso de extracción específico. Estos extractos se caracterizan por su contenido de compuestos bioactivos, los cuales son responsables de sus actividades antimicrobianas (Godlewska et al., 2021). El grado de efectividad antimicrobiana de un extracto vegetal es dependiente de diversos factores como el tipo de planta y de esta la parte que se considera para la obtención de dicho extracto (hoja, tallo, raíz, flor), de la época en la que se obtiene o del tipo de método de extracción que se emplea. Los métodos de extracción pueden clasificarse en tradicionales y no convencionales, estos últimos también conocidos como métodos verdes o técnicas limpias, entre los que destacan las metodologías emergentes basadas en ultrasonido, microondas o la combinación de ambas (Choudhury et al., 2018; Abubakar y Haque, 2020; Vernès et al., 2020). Dichos métodos son considerados sostenibles ya que permiten el uso de disolventes orgánicos como el etanol, agua entre otros, y además se requiere menos tiempo para la extracción y reducen el uso de energía, traduciéndose en un impacto benéfico para el medio ambiente (Rodríguez García y Raghavan, 2021). Estas características son congruentes con las nuevas estrategias de la agricultura moderna en donde se investigan alternativas ecológicas para optimizar el control biológico de plagas.

Múltiples investigaciones se han centrado en evaluar la eficacia de los compuestos bioactivos tales como fenoles, flavonoides, capsaicinoides, carotenoides, vitaminas, terpenoides y saponinas los cuales participan en la supresión del crecimiento fúngico mediante la alteración del metabolismo celular. Estos compuestos, presentes en diferentes extractos vegetales, han sido probados frente a diversos microorganismos fitopatógenos, mostrando resultados positivos (Esposito et al., 2019; Mahmood et al., 2023).

Compuestos bioactivos de las plantas del Desierto Chihuahuense

En términos generales, los compuestos bioactivos son componentes químicos no nutritivos de las plantas, los cuales pueden clasificarse en dos grandes grupos: componentes primarios, esenciales para la supervivencia vegetal, como proteínas, carbohidratos y clorofila; y componentes secundarios o no esenciales, también denominados metabolitos secundarios, entre los que se incluyen polifenoles, terpenos y

moléculas nitrogenadas y/o aceites esenciales los cuales se asocian principalmente a la protección de la planta (López-Romero et al., 2023). Al igual que otras especies vegetales, las plantas del DC producen una amplia diversidad de metabolitos secundarios, los cuales han sido descritos en las últimas décadas (Tabla 1).

Tabla 1. Plantas del desierto Chihuahuense y algunos de los compuestos bioactivos que poseen.

Nombre común	Nombre científico	Compuestos bioactivos	Referencia
Gobernadora	*Larrea tridentata*	Saponinas, sapogeninas, taninos, esteroles, monoterpenos, sesquiterpenos, flavonoides glicosidados, gran cantidad de aceites esenciales y 67 compuestos no volátiles	Herrera-Medina et al., 2021
		Ácido elágico, ácido gálico, catequinas, kaempferol, quercetina, ácido nordhydroguaiaretico, timol, carvacol.	Morales-Ubaldo et al., 2022
Orégano mexicano	*Lippia graveolens* Kunth	Posee diversos compuestos bioactivos en el aceite esencial como carvacrol, timol, B cariophyleno y p-cymene, así como terpenos, además en sus extractos contienen quercetina, o-hexosido, pinocembrina y galangina y flavonoides	Bautista-Hernández et al., 2021
Candelilla	*Euphorbia antisyphilitica Zucc*	Contiene diversos compuestos fenólicos como ácido elágico, taninos hidrolizables, taninos condensados, ácido gálico y catequinas	Rojas et al., 2021
Agave lechuguilla	*Agave lechuguilla*	Contiene clorogenina, diosgenina, diglucósido de diosgenina, esmilagenina, hecogenina, manogenina, tigogenina hexosa, yucagenina y flavonoles, tales como quercetina	Esquivel-Gutiérrez et al., 2021
Nopal (tuna)	*Opuntia spp*	Su cáscara es rica en compuestos fenólicos, betaleínas y flavonoides	Ramírez-Rodríguez et al., 2019
Sangre de drago	*Jatropha dioica*	Jatropholona B, R-sisterol, citlalitriona, riolosatriona, triterpenos, quercetina, catequinas, taninos, ácido elágico y ácido gálico.	Ramírez-Moreno et al., 2020
Hojasen	*Flourensia cernua*	Terpenos y compuestos fenólicos	Estell et al., 2016
		Apigenina, vicenina, ácido cafeíco, luteolina, floretina	Aranda-Ledesma et al., 2022

Diversos estudios han evaluado la aplicación de estos compuestos bioactivos en distintos contextos, incluyendo la producción de hidrógeno y butanol, así como el desarrollo de herbicidas potenciales a partir del jugo de guiche de *Agave lechuguilla* (Oliva-Rodríguez et al., 2023; Sánchez Robles et al., 2023). Asimismo, se ha documentado su uso en la formulación de cubiertas comestibles para la conservación de frutos, como la manzana, empleando cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc) y extractos fermentados de hojasén (*Flourensia cernua*) (De León-Zapata et al., 2015), además de su aplicación como fuentes de fibras dietéticas (Cruz-Requena et al., 2016) y en el control de microorganismos patógenos humanos (Méndez et al., 2012).

Un grupo de compuestos bioactivos que ha mostrados relevancia son los aceites esenciales, mismos que constituyen un grupo de moléculas ampliamente estudiadas por su actividad antimicrobiana y su potencial en estrategias de biocontrol. Se trata de mezclas complejas de compuestos volátiles, responsables del aroma y sabor de las plantas, compuestas principalmente por terpenos, compuestos fenólicos y fenilpropanoides (Sil et al., 2020). Diversos polifenoles y monoterpenos, como carvacrol, timol, p-cimeno, γ-terpineno y cinamaldehído, así como el fenilpropanoide eugenol, presentes en aceites esenciales, han mostrado actividad antimicrobiana. Esta actividad se atribuye principalmente a la sinergia entre los compuestos volátiles que los conforman y no a la acción de un solo componente aislado (Christaki et al., 2012; Košćak et al., 2023).

Como se ha mencionado previamente, las plantas nativas del DC han sido utilizadas históricamente por los habitantes de la región con diversos fines medicinales. Entre estas especies se encuentran el orégano (*Lippia graveolens*), el hojasén (*Flourensia cernua*), el ajo (*Allium sativum* L.) y la gobernadora (*Larrea tridentata*), las cuales forman parte del conjunto de plantas empleadas tradicionalmente con este propósito.

De manera particular, el orégano se utiliza para la obtención de aceites esenciales ricos en fitoquímicos, entre los que destacan terpenos como carvacrol, timol, β-cariofileno y p-cimeno, así como flavonoides tales como O-hexósido y pinocembrina, los cuales han sido descritos para *Lippia graveolens* Kunth (Bautista-Hernández et al., 2021). Otra planta ampliamente utilizada en la región es el hojasén (*Flourensia cernua*), de la cual se ha reportado una importante cantidad de aceites esenciales, entre los cuales se encuentran α-pineno, sabineno, 3-careno, p-cimeno, limoneno, canfor, bomeol, cis-jasmonato, β-cariofileno, α-humuleno, ledeno, flourensadiol, entre otros (Estell et al., 1998). Por otra parte, en la planta comúnmente conocida como damiana (*Turnera diffusa* Willd.) se han identificado en las hojas diversos compuestos bioactivos, incluyendo 1,8-cineol, α- y β-pineno, p-cimeno, timol, calameno, α-copaeno, taninos, flavonoides, damianina, β-sitosterol, arbutina, glucósidos, gonzalitosina y tetrafilina B. Asimismo, en el poleo, otra planta aromática de interés, se han reportado compuestos como monoterpenos, óxido de piperitenona y limoneno (Martínez-Ávila et al., 2021). Con lo anterior, queda establecido que las plantas del DC son una fuente importante de una amplia diversidad de compuestos bioactivos con una potencial aplicación como agentes antimicrobianos.

Actividad antimicrobiana y mecanismos de acción de los compuestos bioactivos DC

El control de enfermedades que afectan a diversos cultivos ha evolucionado hacia enfoques cada vez más sustentables, recurriendo a alternativas como el uso de microorganismos antagonistas y extractos vegetales que han demostrado eficacia en este contexto (Greff et al., 2023). Los compuestos bioactivos que se encuentran en algunas plantas poseen propiedades antimicrobianas y han sido utilizados tradicionalmente como plaguicidas de origen natural, caracterizados por su biodegradabilidad en periodos cortos, lo que los convierte en opciones ambientalmente más compatibles (Ullah y Wiedmer et al., 2025).

En este sentido, la actividad antimicrobiana de una amplia variedad de extractos vegetales ha sido probada frente a distintos microorganismos fitopatógenos. Por ejemplo, extractos obtenidos a partir de frutos frescos de chile de variedades como habanero (*Capsicum chinense*), serrano (*Capsicum annuum var. Serrano*), jalapeño (*Capsicum annuum var. Jalapeño*) y pimiento morrón (*Capsicum annuum var. annuum*) han sido

evaluados contra hongos fitopatógenos como *Fusarium andiyazi* y *Cochliobolus* spp. (López-Muñoz et al., 2019). Asimismo, diversas fuentes vegetales, entre ellas hojas de moringa (*Moringa oleifera*), aguacate (*Persea americana*), cola de caballo (*Equisetum hymale*), gobernadora (*Larrea tridentata*), gordolobo (*Gnaphalium semiamplexicaule*), boldo (*Peumus boldus*), prodigiosa (*Brickellia squarrosa*), romero (*Rosmarinus officinalis*) y raíces de costomate (*Physalis coztomatl*), han mostrado efectos inhibitorios sobre el crecimiento de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani* (Rodríguez-Castro et al., 2020).

En particular, los compuestos bioactivos derivados de plantas del DC y presentes en diferentes tipos de extractos vegetales, han sido estudiados como agentes antagonistas frente a diversas enfermedades de cultivos de importancia agrícola. Así mismo, se ha demostrado en diferentes trabajos de investigación que estás moléculas poseen una buena capacidad antimicrobiana y con efecto frente a algunos de los principales microorganismos fitopatógenos. En este contexto, se han documentado múltiples estudios que evidencian el potencial de estas especies como alternativas para el control biológico, cuyos resultados se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Efecto antimicrobiano de diferentes extractos de plantas del desierto Chihuahuense sobre algunos microorganismos fitopatógenos.

Especie vegetal	Tipo de muestra	Solvente utilizado	Microorganismo fitopatógeno	Resultado	Referencia
Flourensia cernua	Hojas y tallos	Etanol	*Alternaria solani*, *Monilinia fructigena*, *Botrytis cinerea* y *Venturia inaequalis*	Inhibición del crecimiento de los hongos fitopatógenos a excepción de *Alternaria solani*.	Ganchev, 2022
	Hojas	Agua	*Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium* sp., *Rhizopus stolonifer*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Mucor* sp.	Inhibición del crecimiento en un 50% de tres hongos fitopatógenos durante la etapa de postcosecha en el cultivo de tomate.	Álvarez-Pérez et al., 2020
Agave lechuguilla *Carya illinoinensis*, *Jatropha dioica*, *Larrea tridentata* y *Lippia graveolens*	Hojas, raíces, tallos, cáscara	Agua y etanol	*Fusarium oxysporum*	Los extractos etanólicos presentaron mayor actividad antifúngica comparados con los acuosos, siendo *A. lechuguilla*, *C. illinoinensis* y *L. graveolens* presentaron mayor inhibición en el crecimiento de los hongos fitopatógenos.	Tucuch-Pérez et al., 2020

Agave lechuguilla, Carya illinoinensis y Lippia graveolens	Hojas, tallo, ruezno	Etanol	*Fusarium oxysporum*	Se observó disminución de la incidencia y severidad de la enfermedad con extractos de *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* tallo, además de un mayor desarrollo en parámetros morfométricos de las plantas.	Tucuch-Pérez et al., 2021
Larrea tridentata, Flourensia cernua, Opuntia ficus-indica, Agave lechuguilla y Yucca filifera	Hojas, tallos, raíces	Etanol	*Rhizoctonia solani*	Los extractos etanólicos fueron efectivos a bajas concentraciones en la inhibición micelial del hongo fitopatógeno.	Castillo-Reyes et al., 2015
Fouquieria splendens, Agave striata,	Parte aérea de las plantas	Metanol	*Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis*	Los resultados *in vitro* indicaron que los extractos de *F. splendens* y *A. striata* presentan inhibición sobre el fitopatógeno. Por otro lado, el extracto de *F. splendens* mostró control a menores concentraciones que con *A. striata*.	Ramírez et al., 2023
Jatropha dioica	Raíces	Metanol, hexeno, acetato de etilo	*Clavibacter michiganensis* subsp. m*ichiganensis, Pseudomonas syringae* pv. *Tomato, Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*	Los extractos presentaron actividad inhibitoria in vitro sobre el crecimiento de las bacterias fitopatógenas evaluadas.	Pérez-Pérez et al., 2020
Euphorbia antisyphilitica Zucc	Tallos	Etanol	*Erwinia amylovora, Clavibacter michiganensis, Xanthomonas axonopodis*	Los extractos de candelilla fueron efectivos contra las bacterias fitopatógenas.	Burboa et al., 2014

La actividad antimicrobiana de los compuestos bioactivos varía radicalmente según la estructura del fitopatógeno. Al ser moléculas de amplio espectro, su mecanismo de acción afecta diferentes puntos vulnerables dependiendo del tipo de microorganismo invasor. En hongos fitopatógenos, los compuestos bioactivos de las plantas pueden afectar a estos microorganismos a través de diferentes vías moleculares, actuando principalmente sobre biomembranas, proteínas y ácidos nucleicos. Su potencial

antimicrobiano radica en la capacidad para inhibir el crecimiento, el desarrollo y la supervivencia de los patógenos (Rodríguez-Guadarrama et al., 2018; Šovljanski et al., 2023).

En bacterias fitopatógenas, el mecanismo de acción de los compuestos bioactivos es complejo y suele depender de la acción combinada de diversas moléculas, más que de la interacción con un único blanco celular (da Silva et al., 2016). Entre los principales mecanismos descritos se incluyen la inhibición de la síntesis de proteínas (Niño et al., 2012), la alteración de la pared y la membrana celular (Khameneh et al., 2021) y la inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos (Xie et al., 2015), entre otros procesos esenciales para la viabilidad bacteriana.

Debido a la diversidad y acción sinérgica de compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, taninos, aceites esenciales, ácidos fenólicos, entre otros, las vías de actividad antimicrobiana en fitopatógenos son diversas, afectando estructuras de la pared o membrana celular, inactivación enzimática, daño en ácidos nucleicos, etc. Por ejemplo, los flavonoides tienen la capacidad de inducir cambios celulares a través de la interacción con ácidos nucleicos, proteínas, lípidos y/o carbohidratos. Dentro de estas bioactividades destacan las interacciones flavonoides-proteínas, como quinasas, α-glucosidasa, enoyl-ACP reductasa, entre otras. Sin embargo, actualmente no se ha definido de manera concluyente dichas interacciones (Joyner, 2021). Por otra parte, los flavonoides más hidrofílicos interactúan principalmente con la interfaz de la membrana, mientras que los flavonoides hidrofóbicos se insertan en el interior de la bicapa lipídica (Yuan et al., 2021). La lipofilicidad constituye una característica clave de diversas moléculas bioactivas y se relaciona directamente con su afinidad por ambientes lipídicos y su actividad antimicrobiana. Entre algunas de las plantas del DC que contienen flavonoides se encuentran la gobernadora (*Larrea tridentata)* (Morales-Márquez et al., 2025), el hojasén (*Flourensia cernua*) (Valero-Mendoza et al., 2025) y la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) (Bautista-Hernández et al., 2021).

Otro grupo importante de compuestos bioactivos son los taninos, los cuales, desde el punto de vista químico, se dividen dos grandes grupos: los galotaninos y elagitaninos, caracterizados por un núcleo de glucosa o poliol esterificado con ácido gálico o ácido hexahidroxidifénico, respectivamente, y los taninos condensados, que corresponden a oligómeros o polímeros de flavan-3-oles, conocidos como proantocianidinas, debido a su descomposición al calentarse en etanol (Guo et al., 2020). Una de las características de estos compuestos es su poder antioxidante, mismo que lo hace un candidato idóneo como antimicrobiano. Entre los mecanismos antioxidantes de los taninos destaca su capacidad para asociarse con proteínas mediante puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas, provocando la precipitación irreversible de estas macromoléculas. Asimismo, los taninos pueden actuar como agentes quelantes e inhibidores enzimáticos, lo que conduce al daño de la pared celular de los microorganismos, particularmente en bacterias Gram positivas, cuya pared celular es estructuralmente más susceptible (Meza Ucella-Filho et al., 2022).

Los grupos funcionales presentes en los compuestos bioactivos desempeñan un papel determinante en su actividad antimicrobiana. En este sentido, los terpenoides, ampliamente distribuidos en la flora del DC, conforman el grupo más numeroso de fitoquímicos y presentan una elevada diversidad estructural, al estar formados por múltiples unidades de

cinco carbonos conocidas como unidades de isopreno (Adedokum et al., 2023). Estas moléculas tienen la capacidad de inhibir procesos esenciales en las bacterias, como la captación de oxígeno y la fosforilación oxidativa, lo que provoca alteraciones en la respiración celular y conduce al desacoplamiento de la fosforilación oxidativa en el microorganismo. Adicionalmente, los terpenoides comparten con los flavonoides una marcada naturaleza lipofílica, lo que potencia su acción antimicrobiana (Mahizan et al., 2019).

La actividad antimicrobiana de los compuestos polifenólicos está relacionado a la inactivación de las enzimas en el microorganismo, lo cual causa cambios en la permeabilidad de la membrana. Así mismo, se ha observado que estos compuestos pueden inducir la ruptura de las membranas y causa la lisis de las conidias e hifas, generando la pérdida de la integridad celular y, eventualmente, la muerte del hongo (Álvarez-Pérez et al., 2020). Dentro del grupo de compuestos fenólicos se encuentran los ácidos fenólicos, moléculas que tienen un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo (hidroxilo fenólico) y a un grupo carboxilo. Estos compuestos comúnmente se encuentran conjugados a ésteres, éteres, azúcares simples, polímeros vegetales, ácidos orgánicos o polifenoles. Su mecanismo de acción antimicrobiana se asocia principalmente con el daño a la membrana celular, lo que provoca modificaciones en la hidrofobicidad y en la carga superficial de la célula bacteriana, ocasionando la liberación del contenido citoplasmático (Kauffmann y Castro, 2023).

Finalmente, el modo de acción antimicrobiana de los aceites esenciales sobre los microorganismos fitopatógenos es amplio y multifactorial. De manera general, el mecanismo de acción de los aceites esenciales se debe a sus propiedades lipofílicas que le permiten atravesar la pared celular y dañar la membrana citoplasmática al tiempo que alteran varias capas de ácidos grasos, polisacáridos y fosfolípidos, aumentando a la vez la permeabilidad, ocasionando alteraciones de la pared celular la estabilidad citoplasmática y el impacto del daño celular y el escape de macromoléculas (Sil et al., 2020). Particularmente, en bacterias fitopatógenas se han descrito diversos mecanismos de inhibición, entre los que se incluyen la degradación de la pared celular, alteraciones en la actividad del ATP y de las ATPasas intra y extracelulares, así como la interferencia en los sistemas de detección de quórum, lo que conduce a una disminución de la actividad proteolítica, la formación de biopelículas y la expresión de factores de virulencia (Košćak et al., 2023). En el caso de los hongos fitopatógenos, la bioactividad de estos compuestos se ha relacionado con su carácter lipofílico, el cual favorece la ruptura de las paredes celulares y la pérdida de la integridad estructural del microorganismo (Pandey et al., 2017).

Como se detalló en las tablas 1 y 2, las plantas del DC poseen una gran diversidad de compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana frente a fitopatógenos, lo que resalta su potencial como agentes de control en una época en donde se buscan alternativas para formulaciones con ingredientes naturales y sustentables, lo que conlleva a su alto valor agregado.

Bioprocesos y biocontrol

Una alternativa relevante para el desarrollo de biopesticidas es el uso de herramientas biotecnológicas, las cuales permiten reducir la incidencia de enfermedades en cultivos mediante el empleo de microorganismos productores de metabolitos antimicrobianos o antagonistas de fitopatógenos. Estos microorganismos presentan características como estabilidad genética, eficacia a bajas

concentraciones, requerimientos nutricionales simples y capacidad para producir diversos compuestos bioactivos (Hernández-Montiel et al., 2021; Mitrović et al., 2021). Dentro de este grupo de microorganismos, también llamados agentes de control biológico, se encuentran géneros como *Bacillus, Pseudomonas, Lactobacillus, Streptomyces, Saccharomyces* y *Trichoderma* que han sido probados en el tratamiento contra la podredumbre negra causada por *Xanthomonas campestris pv. campestris* (Grahovac et al., 2021) o el mismo *Bacillus* sp. que es capaz de inhibir el crecimiento de *Aspergillus flavus* (Vlajkov et al., 2022).

Las plantas del DC han sido usadas como sustrato por algunos agentes de control biológico para la producción de diversos metabolitos y/o extractos que inhiben el crecimiento de microorganismos fitopatógenos. Coronado-Contreras y colaboradores (Coronado-Contreras et al., 2023) utilizaron extractos fermentados por diferentes cepas de *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae* de residuos de cáscara de tuna, fruta del nopal (*Opuntia ficus-indica*), probándolos contra los fitopatógenos *Alternaria* sp. y *Botrytis* spp. y obteniendo inhibición en su crecimiento debido a la presencia de taninos condensados e hidrolizables los cuales aumentan su biodisponibilidad tras el proceso de fermentación. Por su parte, De León y colaboradores (De León et al., 2013) evaluaron la biotransformación de extractos acuosos de hojasén (*Flourensia cernua*) mediante el hongo *Aspergillus niger*, observando inhibición del crecimiento de *Penicillium expansum* y *Fusarium oxysporum*.

Conclusiones

El desierto Chihuahuense es una región de alta riqueza florística, cuyas especies vegetales presentan una amplia diversidad de compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana. Estas características posicionan a la flora del DC como una fuente promisoria para el desarrollo de formulaciones de biopesticidas y como sustrato potencial para la obtención de agentes de control biológico. Asimismo, la combinación de las propiedades bioactivas de estas plantas con herramientas biotecnológicas y metodologías emergentes para la obtención y optimización de extractos vegetales representa una alternativa viable para el manejo de enfermedades agrícolas. En este contexto, el aprovechamiento sustentable de la flora del desierto Chihuahuense ofrece perspectivas favorables para el desarrollo de estrategias de control fitosanitario más sostenibles, tanto a nivel regional como global, aunque se requiere profundizar en estudios de validación, estandarización y aplicación a escala productiva.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por proporcionar las instalaciones, equipos e insumos necesarios para llevar a cabo este proyecto. Así mismo, a la SECIHTI por su apoyo con la beca de estancia posdoctoral.

Referencias

Abubakar, A.R. y Haque, M. (2020). Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, *12*(1), 1-10. 10.4103/jpbs.JPBS_175_19

Adedokun, K.A., Imodoye, S., Bello, I.O. y Lanihun, A.A., (2023). Therapeutic potentials of medicinal plants and significance of computational tools in anti-cancer drug discovery, Editor(s): Chukwuebuka Egbuna, Mithun Rudrapal, Habibu Tijjani, En Drug

Discovery Update, Phytochemistry, Computational Tools and Databases in Drug Discovery (Pages 393-455). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90593-0.00017-4

Álvarez-Pérez, O.B., Ventura-Sobrevilla, J.M., Ascacio-Valdés, J.A., Rojas, R., Verma, D.K. y Aguilar, C.N. (2020). Valorization of *Flourensia cernua* DC as source of antioxidants and antifungal bioactives. *Industrial Crops and Products*, *152*, 112422. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112422

Aranda-Ledesma, N.E., González-Hernández, M.D., Rojas, R., Paz-González, A.D., Rivera, G., Luna-Sosa, B. y Martíenz-Ávila, G.C.G. (2022). Essential Oil and Polyphenolic Compounds of *Flourensia cernua* Leaves: Chemical Profiling and Functional Properties. *Agronomy*, *12*(10), 2274. https://doi.org/10.3390/agronomy12102274

Bautista-Hernández I., Aguilar, C.N., Martínez-Ávila, G.C.G., Torres-León, C., Ilina, A., Flores-Gallegos, A.C., Kumar Verma, D. y Chávez-González, M.L. (2021). Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) as source of bioactive compounds: A review. *Molecules*, *26*(17), 5156. https://doi.org/10.3390/molecules26175156

Bautista-Hernández, I., Aranda-Ledesma, N.E., Rojas, R., Tafolla-Arellano, J.C., Martínez-Ávila, G.C.G. (2021). Antioxidant activity of polyphenolic compounds obtained from *Euphorbia antisyphilitica* by-products. *Heliyon*, *7*(4), e06734. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06734

Boiteux, J.J., Vanda Hapon, M., Fernández, M.A., Lucero, Gabriela, S.L. Y Pizzuolo, P.H. (2015). Effect of aqueous extract of chanar (Geoffroea decorticans Burkart) on *Botrytis cinerea*, as possible alternative for control in post-harvest of table grape. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, *47*, 241-250.

Bolívar-Anillo, H.J., Garrido, C. y Collado, I.G. (2020). Endophytic microorganisms for biocontrol of the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*. *Phytochemistry Reviews*, *19*, 721-740. 10.1007/s11101-019-09603-5

Burboa, E.A., Ascacio-Valdés, J.A., Zugasti-Cruz, A., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar, C.N. (2014). Capacidad antioxidante y antibacteriana de extractos de residuos de candelilla. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, *45*(1), 51-56.

Cándido del Toro, C.A., Arredondo-Valdés, R., Govea Salas, M., Anguiano Cabello, J.C., Segura-Ceniceros, E.P., Ramos-González, R., Ascacio-Valdés, J.A., Laredo-Alcalá, E.I. y Iliná, A. (2023). Plants of the Chihuahuan Semi-desert for the Control of Phytopathogens. En: Aromatic and Medicinal Plants of Drylands and Deserts. 10.1201/9781003251255-6

Carezzano, M. E., Paletti Rovey, M. F., Cappellari, L. d. R., Gallarato, L. A., Bogino, P., Oliva, M. d. l. M. y Giordano, W. (2023). Biofilm-Forming Ability of Phytopathogenic Bacteria: A Review of its Involvement in Plant Stress. *Plants*, *12*(11), 2207. https://doi.org/10.3390/plants12112207

Castillo-Reyes, F., Hernández-Castillo, F.D., Gallegos-Morales, G., Flores-Olivas, A., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar, C.N. (2015). Efectividad *in vitro* de *Bacillus* y

polifenoles de plantas nativas de México sobre *Rhizoctonia-Solani*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6*(3), 549-562.

Chen, C., Cai, N., Chen, J., y Wan, C. (2019). Clove Essential Oil as an Alternative Approach to Control Postharvest Blue Mold Caused by *Penicillium italicum* in Citrus Fruit. *Biomolecules, 9*(5), 197. 10.3390/biom9050197

Chen, D., Ju, M., Xie, J. Chen X.L. y Peng, J. (2024). Current progress on pathogenicity-related genes in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. *Phytopathology Research 6*, 53. https://doi.org/10.1186/s42483-024-00274-5

Cheung, N., Tian, L., Liu, X. y Li, X. (2020). The Destructive Fungal Pathogen *Botrytis cinerea*-Insights from Genes Studied with Mutant Analysis. *Pathogens. 9*(11), 923. 10.3390/pathogens9110923

Choudhury, D., Dobhal, P., Srivastava, S., Saha, S. y Kundu, S. (2018). Role of botanical plant extracts to control plant pathogens-A review. *Indian Journal of Agricultural Research, 52*(4), 341-346. 10.18805/IJARe.A-5005

Christaki, E., Bonos, E., Giannenas, I. y Florou-Paneri, P. (2012). Aromatic Plants as a Source of Bioactive Compounds. *Agriculture, 2*(3), 228-243. https://doi.org/10.3390/agriculture2030228

Coronado-Contreras, S.A., Ruelas-Chacón, X., Reyes-Acosta, Y.K., Dávila-Medina, M.D., Ascacio-Valdés, J.A. y Sepúlveda, L. (2023). Valorization of prickly pear peel residues (*Opuntia ficus-indica*) using of solid-state fermentation to accumulation of tannins. *Preprints*. DOI: 10.20944/preprints202309.0895.v1

Costa Almeida, O.A., Oliveira de Araujo, N., Silva Dias, B.H., Sant´Anna Freitas, C., Fender Coerini, L., Ryu, C.M. y Castro Oliveira, J. (2023). The power of the smallest: The inhibitory activity of microbial volatile organic compounds against phytopathogens. *Frontiers in Microbiology, 13*, 951130. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.951130

Costa, J.H., Bazioli, J.M., Barbosa, L.D., dos Santos Júnior, P.L.T., Reis, F.C.G., Klimeck, T., Crnkovic, C.M., Berlinck, R.G.S., Sussulini, A., Rodrigues, M.L. y Pacheco Fill, T. (2021). Phytotoxic tryptoquialanines produced in vivo by *Penicillium digitatum* are exported in extracellular vesicles. *Genetics and Molecular Biology, 12*(1), e03393-20. 10.1128/mBio.03393-20

Cruz-Requena, M., Aguilar-González, C.N., Prado Barragán, L.A., Correia, T., Contreras Esquivel, J.C. y Rodríguez-Herrera, R. (2016). Functional and physico-chemical properties of six desert-sources of dietary fiber. *Food Bioscience 16*, 26-31. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.08.001

da Silva, C.M.A., Costa, B.M.S., Silva, A.G., Souza, E.B., Silva, M.V., Correia, M.T.S., SantÂ´Anna, S.A.P., y de Menezes, L.V.L. (2016). Antimicrobial activity of several Brazilian medicinal plants against phytopathogenic bacteria. *African Journal of Microbiology Research, 10*(17), 578-583. https://doi.org/10.5897/AJMR2014.6999

De León, M.A., Sáenz, A., Jasso-Cantú, D., Rodríguez, R., Pandey, A. y Aguilar, C.N. (2013). Fermented *Flourensia cernua* Extracts and Their in vitro Assay Against *Penicillium expansum* and

Fusarium oxysporum. *Food Technology and Biotechnology, 51* (2), 233–239.

De León-Zapata, M.A., Saénz-Galindo, A., Rojas-Molina, R., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar, C.N. (2015). Edible candelilla wax coating with fermented extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples. *Food Packaging and Shelf Life, 3*, 70-75. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.01.001

Esposito, T., Celano, R., Pane, C., Piccinelli, A.E., Sansone, F., Picerno, P., Zaccardelli, M., Aquino, R.P. y Mencherini, T. (2019). Chestnut (*Castanea sativa* Miller.) Burs Extracts and Functional Compounds: UHPLC-UV-HRMS Profiling, Antioxidant Activity, and Inhibitory Effects on Phytopathogenic Fungi. *Molecules, 24*, 302. https://doi.org/10.3390/molecules24020302

Esquivel-Gutiérrez, E.R., Manzo-Ávalos, S., Peña-Montes, D.J., Saavedra-Molina, A., Morreeuw, Z.P. y Reyes, A. (2021). Hypolipidemic and Antioxidant Effects of Guishe Extract from *Agave lechuguilla*, a Mexican Plant with Biotechnological Potential, on Streptozotocin-Induced Diabetic Male Rats. *Plants*, *10*(11), 2492. https://doi.org/10.3390/plants10112492

Estell, R.E., Fredrickson, E.L. y James, D.K. (2016). Effect of light intensity and wavelength on concentration of plant secondary metabolites in the leaves of *Flourensia cernua*. *Biochemical Systematics and Ecology, 65*, 108-114. https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.02.019

Estell, R.E., Fredrickson, E.L., Anderson, D.M., Havstad, K.M., Remmenga, M.D. (1998). Relationship of tarbush leaf surface terpene profile with livestock herbivory. Journal of Chemical Ecology 24: 1-12. https://doi.org/10.1023/A:1022399426352

Fernandes, Ch., Casadevall, A. y Gonçalves, T. (2023). Mechanisms of *Alternaria* pathogenesis in animals and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, *47*(6), 1-25. https://doi.org/10.1093/femsre/fuad061

Fillinger, S. y Walker, A.S. (2016) Chemical control and resistance management of *botrytis* diseases. En: Fillinger, S. & Elad, Y. (Eds.) *Botrytis – the fungus, the pathogen and its management in agricultural systems.* (pp. 189-216). Switzerland: Springer International Publishing.

Ganchev, D. (2022). Antisporulation action of tarbush plant (*Flourensia cernua*) towards conidiospores of plant pathogens. *Malasyan Journal of Sustainable Agriculture*, *6*(2), 74-77. 10.26480/mjsa.02.2022.81.84

Gillmeister, M., Ballert, S., Raschke, A., Geistlinger, J., Kabrodt, K., Baltruschat, H., Deising, H.B. y Schellenberg, I. (2019). Polyphenols from *Rheum* Roots Inhibit Growth of Fungal and Oomycete Phytopathogens and Induce Plant Disease Resistance. *Plant Disease*, *103*(7), 1674-1684. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1168-RE

Godlewska, K., Ronga, D. y Michalak, I. (2021). Plant extracts - importance in sustainable agriculture. *Italian Journal of Agronomy*, *16*(2), 1851. https://doi.org/10.4081/ija.2021.1851

Grahovac, J., Pajcin, I., Vlajkov, V., Roncevic, Z., Dodic, J., Cvetkovic, D. y Jokic, A. (2021). *Xanthomonas*

campestris biocontrol agent: selection, medium formulation and bioprocess kinetic analysis. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly, 27*(2), 131-142. https://doi.org/10.2298/CICEQ200508032G

Granados-Sánchez, D., Sánchez-González A., Granados-Victorino, R.O. y Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales. 17,* 111-130. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102

Greff, B., Sáho, A., Lakatos, E. y Varga, L. (2023). Biocontrol activity of aromatic and medicinal plants and their bioactive components against soil-borne pathogens. *Plants, 12*(4), 706. https://doi.org/10.3390/plants12040706

Guo, L., Qiang, T., Ma, Y., Wang, K. y Du, K., (2020). Optimization of tannin extraction from *Coriaria nepalensis* bark as a renewable resource for use in tanning. *Industrial Crops and Products, 149*, 112360. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112360

Hernández-Montiel, L.G., Droby, S., Preciado-Rangel, P., Rivas-García, T., González-Estrada, R.R., Gutiérrez-Martínez, P. y Ávila-Quezada, G.D. (2021). A sustainable alternative for postharvest disease management and phytopathogens biocontrol in fruit: Antagonistic yeasts. *Plants, 10*(12). 2641. https://doi.org/10.3390/plants10122641

Herrera-Medina, R.H., Álvarez-Fuentes, G., Contreras-Servín, C. y García-López, J.C. (2021). Creosote Bush (*Larrea tridentata*) Phytochemical Traits and its Different uses: A Review. *Journal of Applied Life Sciences International, 24*(2), 34-45. 10.9734/jalsi/2021/v24i230221

Holz, G., Coertze, S. y Williamson, B. (2007). The Ecology of Botrytis on Plant Surfaces. In: Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P., Delen, N. (eds) Botrytis: Biology, Pathology and Control. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2626-3_2

Hyde, K.D., Nilsson, R.H., Alias, S.A., Ariyawansa, H.A., Blair, J.E., Cai, L., de Cock, A.W.A.M., Dissanayake, A.J., Glockling, S.L., Goonasekara, I.D., Gorczak, M., Hahn, M., Jayawardena, R.S., Van Kan, J.A.L., Laurence, M.H., Lévesque, C.A., Li, X., Liu, J.K., Maharachchikumura, S.S.N., Manamgoda, D.S., Martin, F.N., McKenzie, E.H.C., McTaggart, A.R., Mortimer, P.E., Nair, P.V.R., Pawlowska, J., Rintoul, T.L., Shivas, R.G., Spies, C.F.J., Summerell, B.A., Taylor, P.W.J., Terhem, R.B., Udayanga, D., Vaghefi, N., Walther, G., Wilk, M., Wrozosek., M., Xu, J.C., Yan, J., Zhou, N. (2014) One stop shop: backbones trees for important phytopathogenic genera: I (2014). *Fungal Diversity, 67* (1), 21-125. https://doi.org/10.1007/s13225-014-0298-1

Iqbal, Z., Iqbal, J., Abbas, I. y Kamran, M. (2017). Innovative strategies for eco-friendly management of citrus blue mold disease caused by *Penicillium italicum* Wehmer. *Agriculture and Food, 5*, 361-365.

Joyner, P. M. (2021). Protein Adducts and Protein Oxidation as Molecular Mechanisms of Flavonoid Bioactivity. *Molecules*, *26*(16), 5102.

https://doi.org/10.3390/molecules26165102

Kannan, V., Bastas, K. y Devi, R. (2015). Scientific and economic impact of plant pathogenic bacteria. In Sustainable Approaches to Controlling Plant Pathogenic Bacteria. eds. V. R. Kannan and K. K. Bastas (Boca Raton, FL, CRC Press), 369-392.

Kauffmann, A.C. y Castro, V.S. (2023). Phenolic Compounds in Bacterial Inactivation: A Perspective from Brazil. *Antibiotics*, *12*(4), 645. https://doi.org/10.3390/antibiotics12040645

Khakimov, A., Salakhutdinov, I., Omolikov, A. y Utaganov, S. (2022). Traditional and current-prospective methods of agricultural plant diseases detection: A review. *IOP Conference Series.: Earth and Environmental Science, 951*, 012002. 10.1088/1755-1315/951/1/012002

Khameneh B, Eskin NAM, Iranshahy M, y Fazly Bazzaz BS. (2021). Phytochemicals: A Promising Weapon in the Arsenal against Antibiotic-Resistant Bacteria. Antibiotics, 10(9), 1044.10.3390/antibiotics10091044

Kharadi, R.R. y Sundin, G.W. (2021). Dissecting the process of xylem colonization through biofilm formation in *Erwinia amylovora. Journal of Plant Pathology, 103*, 41-49. https://doi.org/10.1007/s42161-020-00635-x

Kharadi, R.R., Schachterle, J.K., Yuan, X., Castiblanco, L.F., Peng, J., Slack, S.M., Zeng, Q. y Sundin, G.W. (2021). Genetic Dissection of the *Erwinia amylovora Disease* Cycle. *Annual Review of Phytopathology, 59*, 191-212. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-095540

Košćak, L., Lamovšek. J., Đermić, E., Prgomet, I. y Godena, S. (2023). Microbial and Plant-Based Compounds as Alternatives for the control of phytopathogenic bacteria. *Horticulturae, 9*(10), 1124. https://doi.org/10.3390/horticulturae9101124

Lee, H.B., Patriarca, A. y Magan, N. (2015). Erratum to *Alternaria* in food: ecophysiology, mycotoxin production and toxicology. *Mycobiology, 43*, 93-106. 10.5941/MYCO.2015.43.3.371

Li L, Zhu X-M, Zhang Y-R, Cai Y-Y, Wang J-Y, Liu M-Y, Wang J-Y, Bao J-D. y Lin F-C. (2022). Research on the molecular interaction mechanism between plants and pathogenic fungi. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(9), 4658. https://doi.org/10.3390/ijms23094658

Li X, Wang Q, Li H, Wang X, Zhang R, Yang X, Jiang Q. y Shi Q. (2023). Revealing the Mechanisms for Linalool Antifungal Activity against *Fusarium oxysporum* and Its Efficient Control of Fusarium Wilt in Tomato Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(1), 458. https://doi.org/10.3390/ijms24010458

Lin, Y., Fan, L., Xia, X., Wang, Z., Yin, Y., Cheng, Y. y Li, Z. (2019). Melatonin decreases resistance to postharvest green mold on citrus fruit by scavenging defense-related reactive oxygen species. *Postharvest Biology and Technology, 153*, 21–30. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.016

López-Muñoz, N.R., Romero-Bastidas, M., Arce-Amézquita, P.M. y Hernández-

Rubio, J.S. (2019). Antifungal activity of antioxidants derived from four cultivars of *Capsicums* pp. against phytopathogenic fungi. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6*(18), 487-498. https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2174 .

López-Romero, J.C., Torres-Moreno, H., Ireta-Paredes, A.D.R., Charles-Rodríguez, A.V. y Flores-López, M.L. (2023). Chemical and Bioactive Compounds from Mexican Desertic Medicinal Plants. En *Aromatic and Medicinal Plants of Drylands and Deserts: Ecology, Ethnobiology and Potential Uses* (pp. 189-218). CRC Press. 10.1201/9781003251255-9

Mahizan, N.A., Yang, S.K., Moo, C.L., Song, A.A.L., Chong, C.M., Chong, C.W., Abushelaibi, A., Lim, S.H.E. y Lai, K.S. (2019). Terpene Derivatives as a Potential Agent against Antimicrobial Resistance (AMR) Pathogens. *Molecules*, *24*(14), 2631. https://doi.org/10.3390/molecules24142631

Mahmood, B., Jamil, M., Shafique, S., Khan, M.R., Zafar, T., Bhatti, R.M., Qayyum, H., Tasneem, K., Younas, M.T. y Kakar, M.A. (2023). Evaluating the biocontrol efficacy of selected botanical extracts against bacterial spot of tomato. *Plant Protection, 07*(2), 255-261. https://doi.org/10.33804/pp.007.02.4726

Martínez-Ávila, G.C.G., Aguilar-Zarate, P. y Rojas R. (2021). Currently Applied Extraction Processes for Secondary Metabolites from *Lippia turbinata* and *Turnera diffusa* and Future Perspectives. *Separations, 8*(9), 158. https://doi.org/10.3390/separations8090158

Martins, P.M.M., Merfa, M.V., Takita M.A. y De Souza, A.A. (2018) Persistence in Phytopathogenic Bacteria: Do We Know Enough? *Frontiers in Microbiology, 9*, 1099. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01099

Méndez, M., Rodríguez, R., Ruiz, J., Morales-Adame, D., Castillo, F., Hernández-Castillo, F.D. y Aguilar, C.N. (2012). Antibacterial activity of plant extracts obtained with alternative organics solvents against food-borne pathogen bacteria. *Industrial Crops and Products, 37*(1), 445-450. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.017

Meza Ucella-Filho, J.G., da Silva Monteiro Freire, A., Campos Carréra, J., Moura Fonseca Lucas, F., Zucolotto, S.M., Dias Júnior, A.F. y Akira Mori, F. (2022). Tannin-rich bark extract of plants as a source of antimicrobial bioactive compounds: A bibliometric analysis. *South African Journal of Botany. 150*, 1038-1050. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.018

Mitrović, I., Grahovac, J., Hrustić, J., Jokić, A., Dodić, J., Mihajlović, M., y Grahovac, M. (2021). Utilization of waste glycerol for the production of biocontrol agents nigericin and niphimycin by Streptomyces hygroscopicus: bioprocess development. *Environmental Technology, 43*(19), 3000-3013. https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1913241

Morales-Márquez, R., Delgadillo-Ruiz, L., Esparza-Orozco, A., Delgadillo-Ruiz, E., Bañuelos-Valenzuela, R., Valladares-Carranza, B., Chávez-Ruvalcaba, M. I., Chávez-Ruvalcaba, F., Valtierra-Marín,

H. E., Gaytán-Saldaña, N. A., Mercado-Reyes, M., & Arias-Hernández, L. A. (2025). Evaluation of *Larrea tridentata* Extracts and Their Antimicrobial Effects on Strains of Clinical Interest. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(3), 1032. https://doi.org/10.3390/ijms26031032

Morales-Ubaldo, A. L., Rivero-Perez, N., Valladares-Carranza, B., Madariaga-Navarrete, A., Higuera-Piedrahita, R. I., Delgadillo-Ruiz, L., Bañuelos-Valenzuela, R. y Zaragoza-Bastida, A. (2022). Phytochemical Compounds and Pharmacological Properties of *Larrea tridentata*. *Molecules*, *27*(17), 5393. https://doi.org/10.3390/molecules27175393

Nag, P., Paul, S., Shriti, S. y Das, S. (2022). Defense response in plants and animals against a common fungal pathogen, *Fusarium oxysporum*, *Current Research in Microbial Sciences*, *3*, 100135. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100135

Neri F., Cappellin L., Spadoni A., Cameldi I., Alarcon A.A., Aprea E., Romano A., Gasperi F. y Biasioli F. (2015). Role of strawberry volatile organic compounds in the development of Botrytis cinerea infection. *Plant Pathology, 64*, 709-717. doi: 10.1111/ppa.12287

Nicoletti, R. y Trincone, A. (2016). Bioactive compounds produced by strains of Penicillium and Talaromyces of marine origin. *Marine Drugs,14*(2), 37. https://doi.org/10.3390/md14020037

Niño, J., Mosquera, O.M. y Correa, Y.M. (2012). Antibacterial and antifungal activities of crude plant extracts from Colombian biodiversity. *Revista de Biología Tropical*, *60*(4), 1535-1542.

Ochoa, C.G., Villarreal-Guerrero, F., Prieto-Amparán, J., Garduño, H.R., Huang, F. y Ortega-Ochoa, C. (2023). Precipitation, vegetation, and groundwater relationships in a rangeland ecosystem in the Chihuahuan desert, Northern Mexico. Hydrology, *10*(2), 41. https://doi.org/10.3390/hydrology10020041

Oliva-Rodríguez, A.G., Cervantes-Güicho, V.dJ., Morales-Martínez, T.K., Rodríguez-De la Garza, J.A., Medina-Morales, M.A., Martínez-Amador, S.Y., Reyes, A.G. y Ríos-González, L.J. (2023). Biohydrogen Gas/Acetone-Butanol-Ethanol Production from Agave Guishe Juice as a Low-Cost Growing Medium. *Fermentation*, 9(9), 811. https://doi.org/10.3390/fermentation9090811

Pacios Michelena, S., Aguilar González, C.N., Álvarez Pérez, O.B., Rodríguez-Herrera, R., Chávez González, M., Arredondo-Valdés, R., Ascacio Valdés, J.A., Govea Salas, M. y Ilyina, A. (2021). Application of Streptomyces Antimicrobial Compounds for the Control of Phytopathogens. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*, 696518. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.696518

Palmieri, D., Ianiri, G., Del Grosso, C., Barone, G., De Curtis, F., Castoria, R. y Lima, G. (2022). Advances and Perspectives in the Use of Biocontrol Agents against Fungal Plant Diseases. *Horticulturae*, *8*(7), 577. https://doi.org/10.3390/horticulturae8070577

Palomo-Ligas, L., Nery-Flores, S.D., García-Ortiz, J.D., Pérez-Juárez, C.M., Ascacio-Valdés, J.A., Flores-Gallegos, A.C., Rodríguez-Herrera, R. y Cruz-Requena, M. (2022). Molecular effects of bioactive

compounds from semi desert plant and their use as potential ingredient in food products. En: *Functional Foods and Molecular Mechanisms: Frontier Between Health and Disease*. (pp. 142-192). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119804055.ch6

Pandey, A.K., Kumar, P., Singh, P., Tripathi, N.N. y Bajpai, V.K. (2017). Essential oils: Sources of antimicrobials and food preservatives. *Frontiers in Microbiology, 7*, 2161. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02161

Papoutsis, K., Mathioudakis, M.M., Hasperué, J.H. y Ziogas, V. (2019). Non-chemical treatments for preventing the postharvest fungal rotting of citrus caused by *Penicillium digitatum* (green mold) and *Penicillium italicum* (blue mold). Trends Food Science and Technology, 86, 479–491. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.053

Peng, Y., Li, S.J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J.P., Gao, A.J., Yao, X., Ruan, J.J. y Xu, B.L. (2021) Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. *Frontiers in Microbiology, 12*, 670135. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.670135

Peng. J., Schachterle, J.K. y Sundin, G.W. (2021). Orchestration of virulence factor expression and modulation of biofilm dispersal in *Erwinia amylovora* through activation of the Hfq-dependent small RNA RprA. *Molecular Plant Pathology, 22*, 255-270. https://doi.org/10.1111/mpp.13024

Pérez-Pérez, J.U., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Cuevas-Sánchez, J.A. y Guerra-Ramírez, P. (2020). Actividad antimicrobiana in vitro de extractos de *Jatropha dioica* Seseé contra bacterias fitopatógenas de tomate. *Polibotánica, 49*(25), 125-133. https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.8

Peritore-Galve, F.C., Tancos, M.A. y Smart, C.D. (2021). Bacterial Canker of Tomato: Revisiting a Global and Economically Damaging Seedborne Pathogen. *Plant Disease, 105*, 1581-1595. https://doi.org/10.1094/PDIS-08-20-1732-FE

Ramírez-Méndez, J.E., Hernández-Castillo, F.D., Tucuch Pérez, M.A., Camacho Aguilar, I.I., Arredondo Valdés, R. y Villarreal Quintanilla, J.A. (2023). Efectividad biológica de extractos de *Agave striata* y *Fouquieria splendens* contra *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, 25*(1), 34-42. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1751

Ramírez-Moreno, A, Delgadillo-Guzmán, D., Bautista-Robles, V., Marszalek, J.E., Keita, H., Kourouma, A., Ramírez-García, S.A., Rodríguez-Amado, J.R. y Tavares-Carvalho, J.C. (2020). *Jatropha dioica*, an Aztec plant with promising pharmacological properties: A systematic review. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 14*(6), 169-178. https://doi.org/10.5897/AJPP2020.5147

Ramírez-Rodríguez, Y., Martínez-Huélamo, M., Pedraza-Chaverri, J., Ramírez, V., Martínez-Tagüeña, N. y Trujillo, J. (2019). Ethnobotanical, Nutritional and Medicinal Properties of Mexican Drylands Cactaceae Fruits: Recent Findings and Research Opportunities. *Food Chemistry, 312*, 126073.

https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126073

Rodríguez García, S. L. y Raghavan, V. (2021). Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62*, 6446-6466. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1901651

Rodríguez-Castro, A., Torres-Herrera, S., Domínguez-Calleros, A., Romero-García, A. y Silva-Flores, M. (2020). Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. *Abanico Agroforestal, 2*, 1-13. http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2020.7

Rodríguez-Guadarrama, A.H., Guevara-González, R.G., Romero-Gómez, S.J. y Feregrino-Pérez, A.A. (2018). Antifungal activity of Mexican endemic plants on agricultural phytopathogens: a review," *2018 XIV International Engineering Congress (CONIIN)*, Queretaro, 1-11. 10.1109/CONIIN.2018.8489793

Rojas, R., Tafolla-Arrellano, J.C. y Martínez-Ávila, G.C.G. (2021). *Euphorbia antisyphilitica* Zucc: A Source of Phytochemicals with Potential Applications in Industry. *Plants, 10*(1), 8. https://doi.org/10.3390/plants10010008

Saldaña-Mendoza, S.A., Pacios-Michelena, S., Palacios-Ponce, A.S., Chávez-González, M.L. y Aguilar, C.N. (2023). *Trichoderma* as a biological control agent: mechanisms of action, benefits for crops and development of formulations. *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 39*(10), 269. DOI: 10.1007/s11274-023-03695-0

Sánchez Robles, J.H., Luna Enríquez, C.F., Reyes, A.G., Cruz Requena, M., Ríos González, L.J., Morales Martínez, T.K., Ascacio Valdés, J.A. y Medina Morales, M.A. (2023). Initial Study of Fungal Bioconversion of *guishe* (*Agave lechuguilla* Residue) Juice for Bioherbicide Activity on Model Seeds. *Fermentation*, 9(5), 421. https://doi.org/10.3390/fermentation9050421

Schmey, T., Tominello-Ramirez, C.S., Brune, C. y Stam, R. (2024) Alternaria diseases on potato and tomato. *Molecular Plant Pathology, 25*(3), e13435. https://doi.org/10.1111/mpp.13435

Sil, A., Pramanik, K., Samantaray, P., Mondal, M.F. y Yadav, V. (2020). Essential oils: A boon towards eco-friendly management of phytopathogenic fungi. *Journal of Entomology and Zoology Studies, 8*(4), 1884-1891.

Šovljanski, O., Kljakić, A.C. y Tomić, A. (2023). Antibacterial and Antifungal Potential of Plant Secondary Metabolites. En: Mérillon, JM., Ramawat, K.G. (eds). *Plant Specialized Metabolites. Reference Series in Phytochemistry*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30037-0_6-1

Steglińska, A., Bekhter, A., Wawrzyniak, P., Kunicka-Styczynska, A., Jastrzabek, K., Fidler, M., Smigielski, K. y Gutarowska, B. (2022). Antimicrobial Activities of Plant Extracts against *Solanum tuberosum* L. Phytopathogens. *Molecules, 27*, 1579. https://doi.org/10.3390/molecules27051579

Talibi, H., Boubaker, E.H., Boudyach, A., y Aoumar, A.B. (2014). Alternative methods for the control of postharvest citrus diseases, *Journal of Applied Microbiology, 117*(1), 1-17. https://doi.org/10.1111/jam.12495

Toghueo, R.M.K. y Boyom, F.F. (2020). Endophytic *Penicillium* species and their agricultural, biotechnological, and pharmaceutical applications. *3 Biotech, 10*(3), 107. 10.1007/s13205-020-2081-1

Torres-Leon, C., Rebolledo-Ramírez, F., Aguirre-Joya, J.A., Ramírez-Moreno, A., Chávez-González, M.L., Aguillón-Gutierrez, D.R., Camacho-Guerra, L., Ramírez-Guzmán, N., Hernández Velez, S. y Aguilar, C.N. (2023). Medicinal plants used by rural communities in the arid zone of Viesca and Parras Coahuila in northeast Mexico. *Saudi Pharmaceutical Journal, 31*, 21-28. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2022.11.003

Tucuch-Pérez, M.A., Arredondo-Valdés, R. y Hernández-Castillo, F.D. (2020). Actividad antifúngica de compuestos fitoquímicos de extractos de plantas del semidesierto mexicano contra *Fusarium oxysporum* del tomate por el método de micro dilución en placa. *Ciencias Naturales e Ingenierías, 1*2(25). DOI: https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345

Tucuch-Pérez, M.A., Bojórquez-vega, J.J., Arredondo-Valdés, R., Hernández-Castillo, F.D. y Anguiano-Cabello, J.C. (2021). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. *Ecosistemas y recursos Agropecuarios, 8*(2), e2745. https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2745

Ullah, R. y Wiedmer, S.K. (2025). Potential biopesticides from *Datura alba* and *Calotropis gigantea:* Extraction, analysis, and reported compounds. *Crop Protection, 188*, 107009. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.107009

Valero-Mendoza, A. G., Nuncio, A., Govea Salas, M., Zugasti-Cruz, A., Ríos-González, L. J., Ascacio-Valdés, J. A., Morales-Martínez, T. K., Cruz-Requena, M., & Medina-Morales, M. A. (2025). Bioactive Properties of Polyphenolic Extracts from *Flourensia cernua* Obtained by Emerging Technologies Under a Taguchi L18 Orthogonal Array. Processes, 13(11), 3725. https://doi.org/10.3390/pr13113725

Vásquez Ramírez, L.M. y Castaño Zapata, J. (2017). Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [*Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, 20*(2): 363-374.

Veloso, J. y van Kan, J.A.L. (2018). Many Shades of Grey in Botrytis-Host Plant Interactions. *Trends in Plant Science, 23*(7), 613-622. 10.1016/j.tplants.2018.03.016

Vernès, L., Vian, M. y Chemat, F. (2020). Ultrasound and Microwave as Green Tools for Solid-Liquid Extraction, Colin F. Poole, (Eds.), En *Handbooks in Separation Science, Liquid-Phase Extraction*, (pp. 355-374). Elsevier.https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00012-8

Vidha, S., Patra K., Pai, H., Aguilar-Pontes, M.V., Berasategui, A., Kamble, A., Di Pietro, A. y Redkar, A. (2024). Molecular Dialogue During Host Manipulation by the Vascular Wilt Fungus *Fusarium oxysporum*. *Annual Review of Phytopathology, 62*, 97-126. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021722-034823

Vlajkov, V., Pajčin, I., Loc, M., Budakov, D., Dodić, J., Grahovac, M. y Grahovac, J. (2022). The Effect of Cultivation Conditions on Antifungal and Maize Seed Germination Activity of Bacillus-Based Biocontrol Agent. *Bioengineering*, *9*(12), 797. https://doi.org/10.3390/bioengineering9120797

Wang, H., Guo, Y., Luo, Z., Gao, L., Li, R., Zhang, Y., Kalaji, H. M., Qiang, S. y Chen, S. (2022). Recent Advances in *Alternaria* Phytotoxins: A Review of Their Occurrence, Structure, Bioactivity, and Biosynthesis. *Journal of Fungi*, *8*(2), 168. https://doi.org/10.3390/jof8020168

Xie, Y., Yang, W., Tang, F., Chen. X. y Ren. L. (2015). Antibacterial activities of flavonoids: structure-activity relationship and mechanism. *Current Medicinal Chemistry*, *22*(1), 132-49. 10.2174/0929867321666140916113443

Yuan, G., Guan, Y., Yi, H. Lai, S., Sun, Y. y Cao, S. (2021). Antibacterial activity and mechanism of plant flavonoids to gram-positive bacteria predicted from their lipophilicities. *Scientific Report*, *11*, 10471. 10.1038/s41598-021-90035-7

Zhang, Z., Chen, Y., Li, B., Chen, T. y Tian, S. (2020). Reactive oxygen species: A generalist in regulating development and pathogenicity of phytopathogenic fungi. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, *18*, 3344-3349. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.10.024

Zhu, H., Zhao, L., Zhang, X., Foku, J. M., Li, J., Hu, W. y Zhang, H. (2019). Efficacy of *Yarrowia lipolytica* in the biocontrol of green mold and blue mold in *Citrus reticulata* and the mechanisms involved. *Biological Control*, *139*, 104096. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104096