



Alternaria en México: Caracterización morfológica y molecular, enfermedades asociadas y estrategias de manejo

Nahomy Monserrat Escalera-Mares¹, Juan Daniel Lira-Morales², Edith Salazar-Villa³, Lorena Molina-Cárdenas⁴, Indira Rojo-Báez^{3*}.

¹Posgrado en Ciencias Biológicas, ³Facultad de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Ciudad Universitaria, Blvd. de las Américas y Blvd. Universitarios S/N. C P 80013, Culiacán Rosales, Sinaloa, México; ²Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIA), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), Carretera a Eldorado Km 5.5, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa 80110, México; ⁴Facultad de Agronomía, UAS, km 17.5 Carretera Culiacán-Eldorado, Culiacán, C.P. 80000, Sinaloa México.

*Autor de Correspondencia:

Indira Rojo Báez
indira@uas.edu.mx

Sección:
Edición periódica

Recibido:
10 Julio, 2024
Aceptado:
20 Diciembre, 2025
Publicado:
27 Diciembre, 2025
Adelantada 2026

Cita:
Escalera-Mares NM, Lira-Morales JD, Salazar-Villa E, Molina-Cárdenas L y Rojo-Báez I. 2026. *Alternaria* en México: Caracterización morfológica y molecular, enfermedades asociadas y estrategias de manejo. Revista Mexicana de Fitopatología 44(1): 108. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-32>

RESUMEN

Justificación. En el género *Alternaria* destacan especies fitopatógenas que ocasionan enfermedades como la mancha y tizón foliar en hospedantes como frutales, cereales, hortalizas, plantas ornamentales, cuya consecuencia son las pérdidas económicas. A pesar de esta problemática, la información acerca del género *Alternaria* en México es limitada y se encuentra dispersa. Por lo que el objetivo de esta revisión fue describir la situación actual del género *Alternaria* en México mediante una recopilación de estudios publicados acerca de la caracterización de especies patógenas reportadas, las enfermedades que causan en plantas y las diversas estrategias de control.

Marco teórico y experimental. La identificación tradicional del género *Alternaria* se basa en características morfológicas observadas en cultivos, aunque la variabilidad intra e interespecífica limita su precisión. Por ello, se emplean herramientas moleculares como PCR, secuenciación y análisis filogenéticos que han permitido diferenciar especies y establecer relaciones evolutivas más precisas. En México, este género afecta más de 20 hospederos agrícolas y ornamentales en 15 estados, causando enfermedades en crisantemo, papayo, cactáceas, brócoli, chile y tomate, con incidencias que superan el 40 % en algunos cultivos. Su manejo requiere un enfoque integrado que combine diagnóstico preciso, uso racional de fungicidas, estrategias basadas en la fenología del cultivo y la densidad del inóculo, además de alternativas sostenibles como el control biológico, extractos vegetales, microalgas y nanopartículas, que han mostrado alta eficacia y menor impacto ambiental.

Conclusiones y Perspectivas. En México se han reportado nueve especies que afectan a 23 hospederos cultivables, aunque aún existen vacíos de información en especies ornamentales, forestales y nativas. Las principales dificultades para su control se deben al diagnóstico incorrecto de las enfermedades, lo que limita la aplicación de estrategias efectivas.

Palabras clave: Hongo fitopatógeno, Diagnóstico, Control, Tizón foliar, Mancha foliar



JUSTIFICACIÓN

Especies fitopatógenas del género *Alternaria* revisten importancia a nivel económica, ambiental, agronómica y fitopatológica en el mundo; son causantes de pérdidas económicas ya que causan enfermedades denominadas mancha y tizón foliar en alrededor de 4 000 especies de plantas de cualquier edad. El síntoma principal es una mancha de color oscuro con anillos concéntricos en las hojas de distintos hospedantes como hortalizas, frutales, cereales, crucíferas y plantas ornamentales (Ogada *et al.*, 2021).

Por otra parte, algunas especies de *Alternaria* producen metabolitos secundarios como fitotoxinas asociadas a la patogenicidad y producen micotoxinas, como el ácido tenuazónico (TeA), alternariol (ALT), patulina y alternariol monometil éter (AME), que pueden afectar el 50 % de los productos agrícolas y comprometen la seguridad alimentaria. Además, son difíciles de remover durante el procesamiento de alimentos, por lo que una baja concentración de micotoxinas presentan actividad cancerígena, mutagénica y citotóxica. Aunado a ello, se consideran alérgenos y se asocian a infecciones en el tracto respiratorio causando asma en humanos (Patriarca, 2016; Bacha *et al.*, 2023; He *et al.*, 2024).

Debido al efecto negativo que pueden causar las especies de *Alternaria* en la salud de la planta y por ende en la salud humana, es de suma importancia explorar nuevas estrategias de manejo de especies patógenas; no obstante, en México la información al respecto es escasa, por lo que el objetivo de esta revisión fue describir la situación actual del género *Alternaria* en México mediante una recopilación de estudios publicados acerca de las especies fitopatógenas reportadas, las enfermedades que causan en plantas, así como las diversas estrategias de control.

MARCO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

Análisis bibliográfico. Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica obtenida a la fecha de la redacción de esta revisión sobre caracterización, enfermedades asociadas y estrategias de manejo de especies del género *Alternaria* en México. Para la búsqueda de artículos científicos en inglés y español se consultaron bases de datos como: PubMed, Redalyc, Scopus, SciELO, Google Scholar. La consulta se realizó considerando publicaciones científicas durante el periodo de 1990 a 2025. Las palabras clave utilizadas incluyeron “*Alternaria*” AND “identificación” AND “México”, “*Alternaria*” AND “enfermedad” AND “México”, “*Alternaria*” AND “control” AND “México”.

Caracterización morfológica de *Alternaria*. *Alternaria* fue descrito originalmente por Ness en 1816, con la especie tipo *A. tenuis*. Las descripciones iniciales fueron recopiladas en la clave taxonómica de Simmons (2007) en la que se reconocieron 275 especies. El hongo se caracteriza por tener colonias de color gris, marrón y negro, con hifas incoloras, de color marrón u oliva; ausencia de setas y rara vez forma estroma. Los conidióforos son de color marrón, solitarios o en fascículos con conidios ovoides, cilíndricos, elipsoides u obclavadas de color olivo a marrón, presentan septos transversales y pueden presentar o no, septos longitudinales u oblicuos; en promedio los conidios presentan medidas de $45(-70.5) \times 6.5-15.5 (-17) \mu\text{m}$ (Figura 1) (Watanabe, 2002; Simmons, 2007; Woudenberg *et al.*, 2013).

La caracterización morfológica de *Alternaria*, inicia con el aislamiento y siembra en medios selectivos como Agar Extracto de Malta (MEA), Agar Sabouraud y no selectivos como Papa Dextrosa Agar (PDA), Agar Papa Zanahoria (PCA), Agar Harina de Maíz (CMA) y Agar V8 (Rivas y Mhulhauser, 2014; Blagojevic *et al.*, 2020; Yessimseitova *et al.*, 2025). Las características morfológicas macroscópicas que se consideran para su identificación son: color de la colonia, margen de la colonia, textura y forma del micelio. Para las características microscópicas se requiere observación directa mediante microscopía óptica, donde se considera la forma de conidióforos, células conidiógenas y conidios, ramificación y disposición de conidióforos, disposición de septos, clamidosporas y, finalmente se requieren las características morfométricas como el tamaño de conidios, número de septos transversales y longitudinales, longitud de conidióforos y clamidosporas (Barnett y Hunter, 1998; Simmons, 2007).



Figura 1. Conidios de *Alternaria alternata*. Tomado de Montiel-Salero *et al.* (2022).

De acuerdo con los caracteres morfológicos de este género, anteriormente se clasificaron en dos categorías, de esporas grandes y esporas pequeñas, estas últimas incluyen a la sección *Alternaria*, donde se encuentran *A. arborescens* y *A. alternata* (De Mers, 2022). Se han adoptado los términos de *formae specialis* y patotipos para algunas de estas especies, en el caso de *A. alternata*, se han descrito por lo menos siete patotipos, ya que cada uno genera toxinas específicas dependiendo del hospedero (Akimitsu *et al.*, 2014). Actualmente, las características morfológicas no son suficientes para la identificación de organismos debido a la dificultad de identificar las especies debido a los polimorfismos intraespecíficos y similitudes interespecíficas, agravadas por su sensibilidad a las variaciones ambientales (Ghoneem *et al.*, 2023).

Caracterización molecular de *Alternaria*. En la actualidad se requiere del uso de técnicas de análisis de ADN como la técnica basada en PCR y secuenciación masiva, además de la

amplificación de genes multilocus y análisis filogenético para caracterizar molecularmente a las especies de *Alternaria* (Ghoneem *et al.*, 2023). Los principales genes multilocus empleados como biomarcadores para la identificación molecular de especies de *Alternaria* son: La subunidad nuclear pequeña del ARN ribosomal (SSU), la subunidad nuclear grande del ARN ribosomal (LSU), el espaciador interno transcrito (ITS), Gliceraldehído-3-fosfato-deshidrogenasa (GAPDH), ARN polimerasa II, la segunda subunidad mayor de la ARN polimerasa II (RPB2), Factor de elongación I alfa (TEF I alfa), Alergeno mayor de *Alternaria* (Alt A1), Endopoligalacturonasa (Endo PG), Región genética anónima (OPA 102), Calmodulina (CAL) y grupo ortólogo eucariota (KOG) (Woudenberg *et al.*, 2015; Jayawardena *et al.*, 2019).

La filogenia molecular es una valiosa herramienta para dilucidar taxones parafiléticos dentro de clados de *Alternaria*, esto implica que no siempre existe una correlación entre los grupos de especies basados en las características morfológicas (He *et al.*, 2024). Por lo tanto, se emplean distintos métodos para determinar las relaciones filogenéticas de las especies estudiadas como por ejemplo Máxima Parsimonia, Máxima verosimilitud y/o Inferencia Bayesiana (Tovar-Pedraza *et al.*, 2024). Debido al desafío de distinguir morfoespecies con base en secuencias génicas, actualmente se pueden aplicar tecnologías como la secuenciación del genoma completo para buscar genes que puedan servir como biomarcadores que permitan distinguir estas especies (Dang *et al.*, 2015). En el Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI) se encuentran dos genomas de *Alternaria* disponibles públicamente: *A. brassicicola*, secc. *Brassicicola* (BioProject PRJNA34523), y *A. arborescens*, secc. *Alternaria* (BioProject PRJNA78243) (Woudenberg *et al.*, 2015).

Complejo de especies de *Alternaria*. Los géneros *Alternaria*, *Chalastospora*, *Crivellia*, *Embellisia*, *Nimbya*, *Stemphylium*, *Ulocladium*, *Undifilum* y *Sinomyces* se encuentran dentro del complejo de especies de *Alternaria*, las cuales están estrechamente relacionadas; sin embargo, después de una revisión taxonómica, todos los géneros resultan en sinonimia con *Alternaria*, a excepción de *Stemphylium*. Dentro de este complejo de especies se encuentran especies saprófitas, endófitas y patógenas (Woudenberg *et al.*, 2013). Por otro lado, debido a actualizaciones taxonómicas, por estudios moleculares, especies de *Chalastospora* han cambiado a *Alternaria* (e.g. *Alternaria cetera* syn. *Chalatospora cetera*). La sección *Chalatospora* se caracteriza por tener conidióforos simples o ramificados con conidios de color marrón, elipsoides u ovoides, ausencia de septos transversales, y rara vez septos longitudinales, estos se observan solos o en cadena (Woudenberg *et al.*, 2013), se encuentra asociado a dermatitis granulomatosa nodular en animales domésticos y especies vegetales (Norris *et al.*, 2021).

La sección *Crivellia* se caracteriza por presentar conidióforos primarios rectos o curvos, simples o ramificados con conidios rectos, curvos, con septos transversales, pueden presentar microesclerocios o clamidosporas (Woudenberg *et al.*, 2013; Lawrence *et al.*, 2016). Dentro de esta sección se encuentra *A. penicillata*, estado sexual de *Brachycladium penicillatum*.

Dentro de la sección *Embellisia* se encuentra *A. embellisia*, causante del cancro de bulbo en ajo (*Allium sativum*), se describen los conidióforos como simples o ramificados con conidios de color marrón con dos a seis septos transversales y uno o dos longitudinales y clamidosporas en pares o cadenas (Delgado-Ortiz *et al.*, 2019). En el caso del género *Nimbya*, este se encuentra

dentro de la sección *Alternantherae*, con especies que actualmente son del género *Alternaria* (e.g. *A. alternantherae* syn. *N. alternantherae*) (Woudenberg *et al.*, 2013), sin embargo, existe la sección *Nimbya*, en la que se encuentra *A. cypericola*, que presenta hifas ramificadas y septadas, con conidios rectos o curvos, ovoides a elipsoides, de color marrón, generalmente solitarios o pueden formar cadenas de dos a tres conidios, los conidióforos son macronematosos, solitarios, rectos o ligeramente curvos con septos y de color marrón; se encuentra asociadas a plantas de la familia Juncaceae y Cyperaceae (Ahmadpour *et al.*, 2021).

El género *Stemphylium* se encuentra en diferentes secciones del complejo de especies de *Alternaria*, este se encuentra asociado a enfermedades en cultivos como cebolla, causando lesiones de color marrón en las hojas, provocando defoliación y pérdida de productividad por su incapacidad fotosintética (Hay *et al.*, 2021). Este género es el estado anamorfo de *Pleospora* spp. (Simmons, 1985). La especie *S. vesicarium* presenta hifas con septos, ramificadas, hialinas, con paredes lisas, con conidióforos solitarios, simples, rectos o ligeramente curvados, lisos y rugosos en la célula apical, con conidios de color marrón, oblongos, ovalados, redondeados en el ápice y verrugosas (Kádasi *et al.*, 2024).

Ulocladium, es un género que de acuerdo con Kidd y colaboradores (2022), incluye especies saprófitas, que afectan a frutos y causante de enfermedades en plantas, raramente afecta a humanos. Las colonias pueden formarse de color negro a oliva o gris, con conidióforos geniculados que genera conidios multicelulares que generalmente se encuentran solos, de forma obovada, de color marrón y paredes rugosas. Se ha probado la especie *U. atrum* como antagonista de *Sclerotinia sclerotiorum*, con capacidad de crecimiento sobre el patógeno, sin embargo, no parasitó los esclerocios (Li *et al.*, 2003). La sección *Undifilum* incluye especies endófitas, los conidios presentes son ovadas a elipsoides largos, los septos formados pueden ser gruesos, comparte caracteres con *Embellesia*; sin embargo, se caracteriza por la formación de tubos germinativos ondulados que se ramifican, además, producen el compuesto tóxico swaisonina (Woudenberg *et al.*, 2013), se puede encontrar en *Astragalus* sp. y *Oxytropis sericea* (Cook *et al.*, 2009; Baucom *et al.*, 2012).

Distribución y principales síntomas causados por *Alternaria* en México

Se han reportado diversas especies de *Alternaria* de interés agrícola y ornamental, causando enfermedades como mancha y tizón foliar (Palemón-Alberto *et al.*, 2024). Dentro de las especies afectadas se encuentra la cebolla (Reyes-Tena *et al.*, 2023), crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) (Domínguez-Serrano *et al.*, 2016) y papayo (*Carica papaya*) (Vásquez-López *et al.*, 2012). En cactáceas se asocia a la enfermedad de la mancha dorada y mancha negra (Montiel-Salero *et al.*, 2022; Chavarría-Cervera *et al.*, 2024). Oficialmente se conocen al menos 10 especies diferentes de *Alternaria* en México en 23 hospederos de importancia económica, que están distribuidos en 15 estados (Cuadro 1). No obstante, se tiene desconocimiento de su amplia distribución del hongo en cultivos de interés, así como en hospedantes alternos.

Cuadro 1. Especies fitopatógenas de *Alternaria* reportadas en cultivos en México.

Especie reportada	Hospedero	Área geográfica	Referencia
<i>A. alternata, A. tenuissima</i>	<i>Chrysanthemum morifolium</i>	Yucatán	Dominguez-Serrano <i>et al.</i> , 2016
<i>A. limicola</i>	<i>Citrus paradisi, C. aurantium, C. macrophylla</i> y <i>C. sinensis</i>	Colima	Palm y Civerolo, 1994
<i>A. alternata</i>	<i>Triticum</i> spp.	Sonora	Mata-Santoyo <i>et al.</i> , 2018
<i>A. tomato</i>	<i>Helianthus annuus</i>	Yucatán	Pouel <i>et al.</i> , 2019
<i>A. alternata</i>	<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>	Guanajuato	Mariscal-Amaro <i>et al.</i> , 2017
<i>A. alternata</i>	<i>Carica papaya</i>	Guerrero	Vásquez-López <i>et al.</i> , 2012
<i>A. tenuissima, A. alternata</i>	<i>Brassica oleracea</i>	Guanajuato	Fraire-Cordero <i>et al.</i> , 2010
<i>A. alternata</i>	<i>Opuntia matudae</i>	Hidalgo	Montiel-Salero <i>et al.</i> , 2022
<i>A. alternata</i>	<i>Avena sativa</i>	Tlaxcala	Leyva-Mir <i>et al.</i> , 2014
<i>A. embellisia</i>	<i>Allium sativum</i>	Coahuila	Delgado-Ortiz <i>et al.</i> , 2019
<i>A. alternata</i>	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Guanajuato	Arratia-Castro <i>et al.</i> , 2022
<i>A. solani</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Chiapas	Quiroga-Madrigal <i>et al.</i> , 2007
<i>A. tenuissima</i>	<i>Salix bonplandiana</i>	Estado de México	González-Díaz <i>et al.</i> , 2011
<i>A. chrysanthemi</i>	<i>Chrysanthemum morifolium</i>	Yucatán	Villanueva-Couoh <i>et al.</i> , 2004
<i>A. alternata</i>	<i>Jatropha curcas</i>	Sinaloa	Espinoza-Verduzco <i>et al.</i> , 2012
<i>A. alternata</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Sinaloa	Félix-Gastélum y Gálvez-Figueroa, 2002; Troncoso-Rojas <i>et al.</i> , 2005
<i>A. tenuissima</i>	<i>Malus x domestica</i>	Chihuahua	Madrid-Molina <i>et al.</i> , 2023
<i>A. solani</i>	<i>Capsicum chinense</i>	Yucatán	Cristóbal <i>et al.</i> , 2006
<i>A. alternata</i>	<i>Allium cepa</i>	Michoacán	Reyes-Tena <i>et al.</i> , 2023
<i>A. alternata</i>	<i>Ficus carica</i>	Morelos	Saavedra <i>et al.</i> , 2020
<i>A. alternata</i>	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Colima	Chavarría-Cervera <i>et al.</i> , 2024
<i>A. arborescens</i>	<i>Capsicum pubescens</i>	Guerrero	Palemón-Alberto <i>et al.</i> , 2024
<i>Alternaria</i> sp.	<i>Vaccinium</i> sp.	Michoacán	Mondragón-Flores <i>et al.</i> , 2012
<i>A. solani, A. alternata</i>	<i>Capsicum annuum</i>	Chihuahua	Guigón-López <i>et al.</i> , 2001
<i>A. alternata</i>	<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	Sinaloa	García-León <i>et al.</i> , 2024
<i>Alternaria</i> spp.	<i>Capsicum annuum</i>	Sinaloa	Guerrero-Santana y Vega-Camargo, 2024
<i>A. burnsii A destruens</i>	<i>Plumeria obtusa</i>	Sinaloa	Márquez-Licona <i>et al.</i> , 2025
<i>A. alternata</i>	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Sinaloa	Nuñez-García <i>et al.</i> , 2025

Su importancia de este hongo depende de la incidencia y severidad que puede generar en los diferentes cultivos. Por ejemplo, se ha determinado la incidencia de la mancha foliar causada por *Alternaria* en cultivos de crisantemo de hasta el 30 %, con síntomas en forma de manchas en el margen de las hojas de forma circular u ovaladas de color café a negro con halos amarillos y otras hojas completamente amarillas (Domínguez-Serrano *et al.*, 2016). El tizón foliar en cultivo de cebolla (*Allium cepa*), se reporta incidencia del 20 % en verano, con síntomas en forma de manchas de color café y morado en las hojas, mientras que en invierno la incidencia puede llegar hasta el 80 %, con manchas foliares moradas y lesiones secas. Estos síntomas mercan el crecimiento del bulbo (Reyes-Tena *et al.*, 2023).

Sinaloa, es un estado predominante por su alta producción de cultivos como maíz, frijol, chile y jitomate, el cual ha registrado problemas por este hongo. Se ha reportado el moho negro en frutos maduros de tomate (*Solanum lycopersicum*), causada por *A. alternata*, donde la severidad varía de acuerdo a las condiciones de humedad prevalecientes durante la madurez en frutos. Cuando se presentan períodos prolongados de rocío, lluvia o alta humedad relativa, los conidios de *A. alternata* germinan en respuesta a nutrientes solubles presentes en la superficie de los frutos. Los síntomas de enfermedad varían desde pequeñas lesiones superficiales de color café claro hasta lesiones necróticas hundidas, y se produce una capa negra de conidios sobre el tejido infectado (signo). Esto representa una pérdida económica para los productores cuando la incidencia de la enfermedad supera el 8 % (Félix-Gastélum y Gálvez-Figueroa, 2002). Adicionalmente, se ha reportado *A. alternata* ocasionando pudrición blanda y lesiones hundidas en frutos de tomate, mancha foliar en guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) (Félix-Gastélum y Gálvez-Figueroa, 2002; García-León *et al.*, 2024); *Alternaria* spp. También ocasiona mancha foliar en ajonjolí (García-Espinoza, 2022) y pudrición de fruto en chile (Guerrero-Santana y Vega-Camargo, 2024).

Alternaria no solo afecta el follaje y frutos de los cultivos, también puede causar el tizón de inflorescencias en *Jatropha curcas* ocasionada por *A. alternata* en Sinaloa, donde se observan lesiones pequeñas de color marrón oscuro que al fusionarse forman lesiones necróticas más grandes, lo que provoca la caída de las flores (Espinoza-Verduzco *et al.*, 2012). En almácigos y semillas de chile (*Capsicum annuum*) induce la secadera temprana (damping-off) en almácigos y semillas en Aguascalientes y Zacatecas, México, con asociaciones con *Alternaria*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* (Velásquez-Valle *et al.*, 2007).

Por otro lado, las malezas son de importancia al ser hospedantes de este hongo al encontrarse asociados o cerca de cultivos de relevancia económica. Por ejemplo, en Sinaloa se ha reportado el tizón foliar (*Alternaria* spp.) en tabaco silvestre (*Nicotiana glauca*) el cual crece al costado de los canales de riego y drenes. En las hojas se observan síntomas como lesiones irregulares de color café claro a oscuro en forma irregular. La severidad es mayor cuando los periodos diarios de follaje mojado varían de 15 a 18 h y la temperatura oscila entre 14 y 28 °C. Por su parte, especies de *Alternaria* de la Sección Alternata se relacionan con el tizón foliar en tabaquillo (*Nicotiana trigonophylla*) y chichiquelite (*Solanum nigrum*) y *Alternaria ricini* se ha asociado como el tizón foliar en higuierilla silvestre (*Ricinus comunis*) y lesiones foliares en tabacón (*Nicotiana glauca*) y tabaco silvestre (Figura 2D-E) (Félix-Gastélum *et al.*, 2023).

Generalmente, este hongo se ha caracterizado por síntomas característicos; sin embargo, se ha reportado con asociaciones con otros hongos, como la mancha negra en nopal (*Opuntia ficus-indica*) es causada por una asociación de *Alternaria alternata*, *Corynespora cassiicola* y *Neocytalidium dimidiatum*; entre estos, *A. alternata*, ha registrado incidencia de hasta el 60 %, con síntomas de ablandamiento de los cladodios, así como lesiones de color negro de forma circular e irregular (Figura 2C) (Chavarría-Cervera *et al.*, 2024). El mismo patógeno es causante de la mancha dorada, descrita en México en *O. matudae* (Xoconostle), que genera lesiones en cladodios de color amarillo o clorosis cerca de las areolas, que posteriormente se forma una mancha dorada que evoluciona a necrosis del tejido (Figura 2A) (Montiel-Salero *et al.*, 2022).

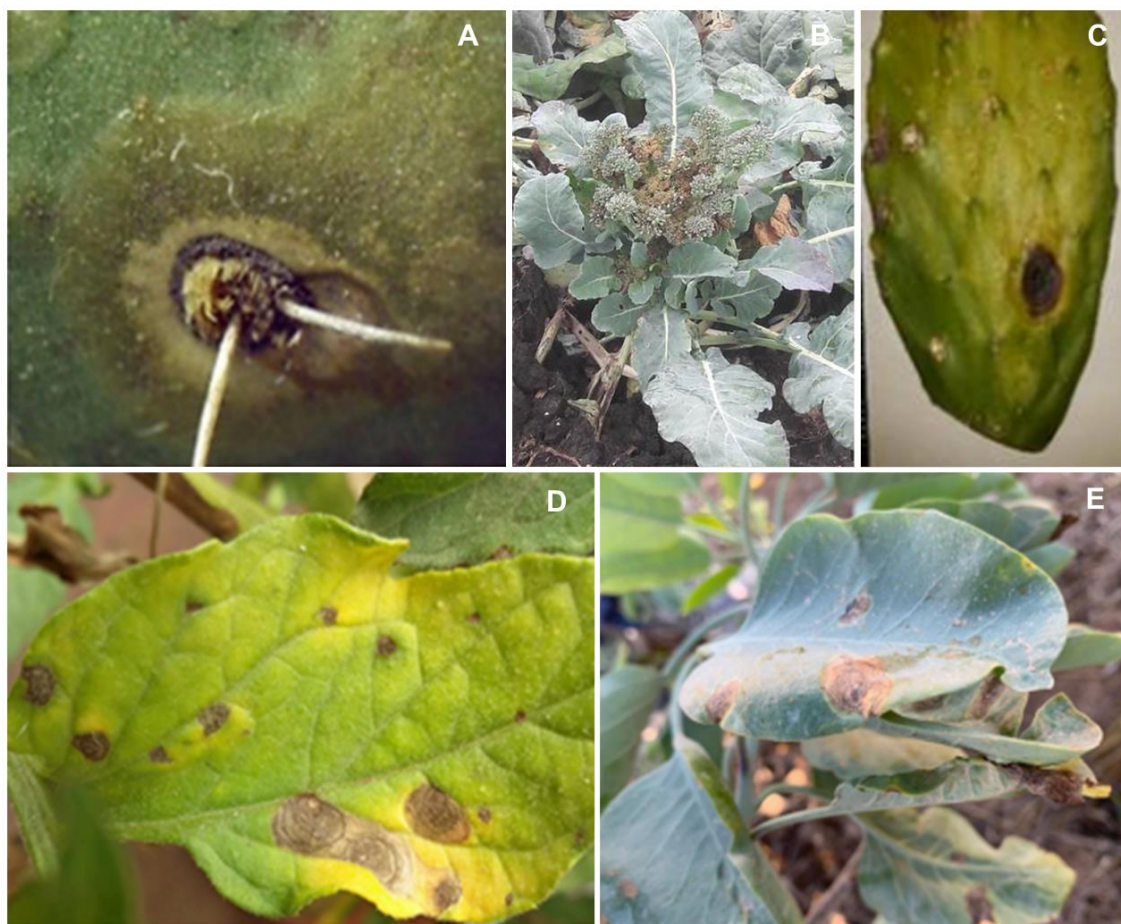


Figura 2. Diversidad de enfermedades asociadas a *Alternaria* spp. **A)** Síntomas de mancha dorada en *Opuntia matudae* causadas por *A. alternata* (Tomado de Montiel-Salero *et al.*, 2022); **B)** Síntoma de pudrición del florete de brócoli por *A. alternata* (Tomado de Arratia-Castro *et al.*, 2022); **C)** Síntoma de mancha negra en *Opuntia ficus-indica* por *A. alternata* (Tomado de Chavarría-Cervera *et al.*, 2024); **D)** Síntomas causados por *Alternaria* sp. en tabaco silvestre y **E)** en tabaco (*Nicotiana glauca*) (Tomado de Félix-Gastélum *et al.*, 2023).

Otro caso de asociación con otros hongos es la pudrición del florete en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), que reduce la calidad y rendimiento del cultivo, cuando se tiene alta humedad relativa (70 %) y temperatura de 30 °C, las pérdidas superan el 40 % (Arratia-Castro *et al.*, 2022). *Alternaria tenuissima*, *A. alternata* y *Fusarium oxysporum* se asociaron como los causantes de la enfermedad en variedades comerciales Marathon, Patron y

Monaco en Guanajuato (Fraire-Cordero *et al.*, 2010). Mientras que Arratia-Castro *et al.* (2022) reportaron la asociación de *A. alternata*, *F. verticillioides* y *F. oxysporum* como agentes causales de la pudrición del florete de brócoli (Figura 2B).

Estrategias de manejo

Para establecer medidas de control, se requiere hacer un diagnóstico del agente causal de la enfermedad con el fin establecer estrategias de manejo acorde al cultivo. Con el objetivo de realizar un manejo integrado, al menos se establecen tres técnicas, las cuales se basan en el control químico, cultural, físico, biológico. De este último, como el uso de agentes de control biológico, extractos vegetales y microalgas. Aunque el control químico es la alternativa más eficaz, el uso inadecuado de los mismos ha ocasionado contaminación en los agroecosistemas, aunado al riesgo en salud pública por el manejo de estos productos (Zavaleta-Mejía, 1999; Zepeda-Jazo, 2018).

Control químico. Es uno de los métodos más utilizados por productores agrícolas por tener una gran eficacia y resultados rápidos. Los principales grupos químicos utilizados para el control de *Alternaria* spp. son los triazoles, en este grupo se encuentra el propiconazol, este fungicida sistémico inhibe el crecimiento radial micelial y la germinación de los conidios, al igual que la mezcla de azoxystrobin + ciproconazol, del grupo de los metoxiacrilatos y triazoles (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2025). La mezcla de ambos grupos químicos también se evaluó con azoxystrobin + epoxiconazol, que retrasa la senescencia de plantas de trigo e indujo un aumento de la enzima antioxidante superóxido dismutasa y reducción de los niveles de O₂ (Wu y Tieddmann, 2001). Del grupo de las carboxamidas, Captan inhibe el crecimiento micelial al interferir en la respiración celular, dificultando el desarrollo del micelio y se transloca a diversos tejidos a través del tratamiento a semillas o suelo; así como los ditiocarbamatos, mancozeb, modifica e inactiva las proteínas involucradas en la traducción y transcripción del ADN (Zarate-Ramos *et al.*, 2022). Los cloronitrilos (Clorotalonil), reducen el crecimiento micelial ya que este compite con el gliceraldehido-3-fosfato por el sitio activo de la gliceraldehido-3-fosfato deshidrogenasa y reduce las moléculas de glutatión fúngico a formas alternativas; así mismo se ha observado la degradación a subproductos que se unen a sitios objetivo (Fairchild *et al.*, 2013).

Aunque en algunos casos se emplea la combinación de fungicidas del mismo modo de acción para el mismo cultivo o patógeno, estudios han demostrado que especies de *Alternaria* han mostrado resistencia cruzada con mancozeb, tebuconazol, iprodiona, fludioxonil y ciprodinil en Grecia (Malandrakis *et al.*, 2015) y mancozeb y difenoconazol en China, sugiriendo que el uso de fungicidas no específicos del sitio puede generar menor sensibilidad en los patógenos y mayor capacidad de generar enfermedades, lo que representa un riesgo en la producción agrícola (Yang *et al.*, 2019).

También se utiliza el fungicida sistémico Amistar GS® (azoxystrobin) en 500 ppm contra *A. chrysanthemi*, el cual puede reducir intensidad del daño foliar en un 50 % y además de asociarse con una menor tasa de infección con respecto a otros fungicidas sintéticos (Villanueva-Couoh *et al.*, 2004). En frutos postcosecha e *in vitro* se ha utilizado el isotiocianato de bencilo, con resultados favorables al utilizar 0.1 mg mL⁻¹ y 0.56 mg mL⁻¹; siendo un controlador eficiente en frutos sin afectar la calidad (Troncoso-Rojas *et al.*, 2005). No obstante,

es importante destacar del tiempo de aplicación de los agroquímicos en la floración o formación del fruto y la permanencia de estos en los frutos para evitar la residualidad en poscosecha.

De la misma manera, se han evaluado *in vitro* Fosetyl aluminio (800 ppm), Azoxystrobin (500 ppm), Imazalil (750 ppm), Procloraz (450 ppm), Benomilo (500 ppm) y Thiabendazol (600 ppm); sin embargo, solo se demostró que Imazalil y Procloraz presenta una efectividad al 100 % sobre *Alternaria* sp. (Herrera *et al.*, 2011). Esto sugiere la posible resistencia de especies de *Alternaria* contra algunos agroquímicos. Por ello, es pertinente estudiar en el país sobre la resistencia que han adquirido las especies de *Alternaria* de los productos disponibles en el mercado.

En Sinaloa se evaluó *in vitro* Azoxystrobin a dosis de 7 y 10 ppm, aunque inhibió hasta 99.5 % la germinación de conidios de *Alternaria alternata* no redujo el crecimiento micelial (Félix-Gastélum y Gálvez-Figueroa, 2002). No obstante, el control químico no es amigable con el ambiente por lo que genera contaminación ambiental y daño a la salud humana a los consumidores por residuos tóxicos en los alimentos y en los trabajadores que se encuentran en contacto directo con los productos químicos (Rangel-Ortiz *et al.*, 2023), por lo que es pertinente la interacción de otras estrategias de manejo.

Control químico basado en la fenología del cultivo. Si bien en México existe escasa información sobre sistemas de predicción basados en la fenología del cultivo, variables ambientales y densidades del inóculo para el inicio de aplicaciones preventivas de los fungicidas químicos en el manejo de enfermedades causadas por especie de *Alternaria*, existe información en otros países sobre el uso eficiente de fungicidas. En México se han determinado etapas de mayor incidencia y severidad causados por *Alternaria* en cultivos de cebolla; sin embargo, existe escasa información sobre la aplicabilidad de esta información (Reyes-Tena *et al.*, 2023). En Israel se determinaron los periodos de mayor susceptibilidad de *A. alternata* en el cultivo de manzana mediante el desarrollo de una estrategia de manejo fenológico, al sincronizar las aplicaciones de fungicidas con la etapa máxima de susceptibilidad del fruto es una estrategia efectiva para controlar la pudrición de *Alternaria*, con esto se puede optimizar el uso de fungicidas, reducir costos y minimizar problemas de resistencia (Lior *et al.*, 2018).

Por otra parte, es importante considerar la carga de inóculo en el manejo preventivo con fungicidas químicos. Por ejemplo, la carga de inóculo influye en la severidad de la mancha foliar causada por *A. brassicae* en el cultivo de coliflor; para un manejo efectivo de la enfermedad es importante controlar la cantidad de inóculo en el suelo, el monitoreo constante y tomar en cuenta la carga de inóculo como factor clave para interpretar la eficacia del control químico (Sunitha y Jha, 2023).

Control biológico. Diversos microorganismos se han evaluado como agentes de control biológico de hongos fitopatógenos, el género más estudiado es *Trichoderma*, en México las principales especies que se ha reportado como biocontrol contra especies fitopatógenas de *Alternaria* son *T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. viride* (Allende-Molar *et al.*, 2022). Este género tiene mecanismos para controlar el crecimiento y desarrollo de fitopatógenos como: 1) antibiosis, mediante metabolitos secundarios que alteran la permeabilidad de las membranas lipídicas de los fitopatógenos, 2) competencia por espacio y nutrientes, por su rápido crecimiento logra colonizar espacios por los que compiten otros microorganismos e incluso, coloniza los sitios de unión de los fitopatógenos a la planta, 3) micoparasitismo, a través del

crecimiento quimiotrófico de *Trichoderma*, se adhiere y enrolla al patógeno, induce la producción de enzimas líticas extracelulares (quitinasas, glucanasas y proteasas) que degradan la pared celular del microorganismo patógeno, e 4) inducción de resistencia, la activación de mecanismos de resistencia sistémica aceleran la respuesta frente a fitopatógenos al segregar proteínas con actividad enzimática (Companioni *et al.*, 2019)

La evaluación *in vitro* es la vía principal para probar preliminarmente un organismo de control biológico. Se han realizado distintos ensayos de antagonismo con diversas especies de *Trichoderma*, por ejemplo se evaluó a *T. asperellum* contra *Alternaria* sp., mostrando un porcentaje de efectividad entre 50 y 93 % (Matas-Baca *et al.*, 2022), y la evaluación *in vivo* del mismo antagonista (100 mL) en árboles de manzana, que mostró capacidad antagonista sobre el control (Madrid-Molina *et al.*, 2023), se le atribuye su efectividad a la producción enzimática de glucanasas y quitinasas, que influyen en la respuesta de defensa contra *Alternaria* spp., degradando la pared celular (Infante *et al.*, 2009; Camacho-Luna *et al.*, 2021). En los últimos años se han realizado varias investigaciones enfocadas en el uso de agentes de control biológico para el control de una amplia diversidad de hongos fitopatógenos; no obstante, los estudios encausados en el control de *Alternaria*, aún son limitados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efectividad *in vitro* de microorganismos antagonistas contra *Alternaria* spp.

<i>Alternaria</i> spp.	Microorganismo antagonista	Porcentaje de efectividad (%)	Referencia
<i>Alternaria solani</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>	62.9-73.8	Michel-Aceves <i>et al.</i> , 2008
<i>A. solani</i>	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	44.2-67.8	Michel-Aceves <i>et al.</i> , 2008
<i>A. solani</i>	<i>Trichoderma koningii</i>	81.3	Michel-Aceves <i>et al.</i> , 2008
<i>A. alternata</i>	<i>Trichoderma asperellum</i>	56-62	Rios-Velasco <i>et al.</i> , 2016
<i>A. alternata</i>	<i>Bacillus methylotrophicus</i>	63	Rios-Velasco <i>et al.</i> , 2016
<i>A. alternata</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	64	Rios-Velasco <i>et al.</i> , 2016
<i>A. alternata</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	38.2-71.9	Ruiz-Sánchez <i>et al.</i> , 2016
<i>A. alternata</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	47	Rodríguez-Romero <i>et al.</i> , 2019

Bacillus subtilis también es de las especies bacterianas más utilizadas como biocontroladoras de fitopatógenos, se ha probado el producto comercial Probacil® (1 X 10⁸ de células por mL) en combinación con ácido salicílico sobre *A. solani* en plantas de tomate, como resultado se redujo la severidad de la enfermedad, aumentó el crecimiento de la plantas y se obtuvo mayor rendimiento en los frutos (Figura 2) (Espinosa-Vázquez *et al.*, 2019); con *B. atrophaeus*, contra *A. alternata*, se muestra antagonismo *in vitro* y 33.7 % de germinación de esporas, mismo que se le atribuye a la presencia de lipopéptidos; esta cepa se comparó con *Brevibacterium frigoritolerans*, que no muestra inhibición suficiente; sin embargo, la germinación de conidios es tan solo del 12 % (Chacón-López *et al.*, 2021).



Figura 3. Mecanismos de acción de los principales agentes de control biológico (PK: Policétidos; NRPS: moléculas peptídicas de síntesis no ribosomal).

La eficacia de los agentes de control biológico se debe a la diversidad de formas de acción de estos microorganismos, mismos que se ilustran en la Figura 3 (Martínez *et al.*, 2013; Álvarez-García *et al.*, 2020; Pedraza *et al.*, 2020). No obstante, el uso de microorganismos es un proceso que demora tiempo para que actúen correctamente debido al tiempo de crecimiento de estos, ya que se requiere de productos de rápida acción para el control de los patógenos; además, el costo del control biológico es más elevado que el control químico u otro tipo de control, por lo que actualmente se está trabajando en la búsqueda de nuevas alternativas para el control de fitopatógenos.

Otras alternativas de control. Aunado al control biológico, se han explorado nuevas alternativas, como el uso de extractos de plantas, aceites esenciales o biopolímeros. En el caso de los biopolímeros, es un área con gran potencial y sus estudios aún están en ascenso; sin embargo, se ha demostrado que el quitosano posee actividad antifúngica, además, proporciona un aumento en la producción de peroxidasa, catalasa y fenilalanina amonio liasa que mejoran la defensa vegetal (Rodríguez-Guzmán *et al.*, 2019) y en combinación con biocontroladores como *P. fluorescens*, inhibe hasta el 60.2 % del crecimiento micelial y 100 % de inhibición de germinación de los conidios (Rodríguez-Romero *et al.*, 2019).

Extractos vegetales. Los extractos vegetales resultan ser una alternativa benéfica como método preventivo; el uso del extracto de acetona de chilemecate (*Salmea scandens*), a concentraciones de 4 000 y 5 000 ppm, ha tenido resultados prometedores *in vitro* y en frutos

de tomate contra *A. solani*, esto se le atribuye ya que el extracto tiene la presencia de ácidos carboxílicos, aldehídos, cetonas y compuestos aromáticos, mismos que pueden fungir como antagonistas (Salas-Marina *et al.*, 2021). El extracto etanólico de residuos de mamey (*Pouteira sapota*) también muestra efecto inhibitorio de hasta el 46.4 % sobre *Alternaria* spp. (Rodríguez-Romero y Martínez-Ramírez, 2023). El aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) (1 000 ppm) presenta capacidad antifúngica *in vitro* contra *A. citri*, causante de pudrición en cítricos, se le atribuye su capacidad antagonista a que los compuestos del aceite esencial son borneol, timol y carvacrol (Soto *et al.*, 2006).

La elaboración de productos eficientes de extractos contra fitopatógenos es una tarea complicada; sin embargo, la constante evaluación de diferentes extractos ha dado resultados prometedores contra fitopatógenos, además, son seguros para los consumidores y para el ambiente (Villa-Martínez *et al.*, 2015), y, aunque resultan tener una buena efectividad, los bioplaguicidas requieren regulación de instituciones como la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo (SADER) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), ya que se debe emitir un permiso para su elaboración y fabricación.

Microalgas. El uso de las microalgas ha incrementado debido a su bajo costo, fácil producción y sus características; convierten el dióxido de carbono en biomasa, misma que es utilizada para la creación de alimentos para humanos y animales, cosméticos, biocombustibles, tratamiento de aguas residuales y como bioestimulante para plantas; entre los géneros con mayor importancia comercial se encuentran *Chaetoceros*, *Chlorella*, *Dunaliella* e *Isochrysis* (Ortiz-Moreno *et al.*, 2019). En un estudio realizado por Schmid y colaboradores (2022), evaluaron diferentes microalgas contra diversos fitopatógenos, entre estos, *A. alternata*, las microalgas fueron *Nannochloropsis* sp., *Phaeodactylum tricornutum*, *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella vulgaris* y *Spirulina* sp., y se determinó que únicamente la microalga *P. tricornutum* mostró capacidad antagonista de los hongos, con excepción de *A. alternata*.

Nanopartículas. Las nanopartículas poseen actividad antimicrobiana y antifúngica, lo que las convierte en nanoplaguicidas más eficientes que los plaguicidas tradicionales (Wang *et al.*, 2017). Estas partículas pueden interactuar directamente con las membranas celulares de los patógenos vegetales, causando alteraciones estructurales. Debido a su reducido tamaño, son capaces de penetrar las paredes celulares de bacterias y hongos, generando despolarización de la membrana, pérdida del contenido celular interno y, finalmente, la lisis celular (Sirelkhatim *et al.*, 2015). Este efecto se debe a la liberación gradual de iones de zinc (Zn^{2+}) al disolverse las ZnO NPs en el entorno, los cuales interfieren con procesos enzimáticos esenciales, la síntesis proteica y la replicación del ADN, afectando gravemente a las células microbianas (Mishra *et al.*, 2025).

Se ha evidenciado la aplicación de nanopartículas de zinc (ZnO); Mishra *et al.* (2025) reportaron que las nanopartículas de óxido de zinc micogénico (elaboradas con filtrado de cultivo de *Trichoderma harzianum*) inhibió el crecimiento micelial de *Alternaria brassicae* en un 91.48 % a 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ en comparación con las nanopartículas de zinc sintetizadas químicamente a 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (79.62%) y Mancozeb al 02 % (82.96 %). Por otra parte, las nanopartículas de plata (AgNP) también tienen potencial en la actividad antifúngica, Ansari *et*

al. (2023) sugieren que las nanopartículas de plata tienen potencial para mejorar el crecimiento y rendimiento de plantas de tomate y a su vez brinda protección contra *Alternaria solani*.

Por otro lado, Cerna-Chavez *et al.* (2024) evaluaron *in vitro* el efecto inhibitorio de nanopartículas de dióxido de silicio (NPs SiO₂) y grafeno (NPs-Graf) mezcladas con extractos de *Bacillus amyloliquefaciens* (EcBa) sobre el desarrollo micelial y formación de estructuras reproductivas de *A. alternata*; el tratamiento con nanopartículas de silicio presentó mejor efecto inhibitorio ya que logró inhibir el crecimiento micelial y disminuyó la producción de esporas y esclerocios de 84 hasta 100 %.

En México existen escasos estudios sobre el uso de nanopartículas contra especies de *Alternaria*. Hernández-López *et al.* (2018) desarrollaron nanopartículas de quitosano con α -pineno (P-CSNP) y un recubrimiento comestible nanoestructurado (EC-PCSNP) y evaluaron estas nanopartículas en pimiento morrón (*Capsicum annuum*) inoculado con *A. alternata* en refrigeración para evaluar su calidad poscosecha; observaron que la aplicación de nanopartículas de quitosano previno la incidencia y la severidad del fitopatógeno durante 21 días de almacenamiento.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El complejo de especies de *Alternaria* abarca diferentes especies que representan un riesgo para los cultivos, plantas ornamentales y al ser productoras de micotoxinas, son un riesgo potencial en salud humana. Su taxonomía es compleja, y actualmente el análisis filogenético está en constantes cambios. *Alternaria* spp. están ampliamente estudiadas en cuanto a importancia económica, en esta revisión, se detallan 10 especies en 23 cultivos, distribuidos en diferentes estados de México, lo que muestra la gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales que tiene este género. *Alternaria* genera daños de hasta el 80 % del total en cultivos, de ahí la importancia del estudio de estos organismos; sin embargo, aún es probable que aún haya hospedantes cultivables por reportar y otras especies vegetales que pueden funcionar como reservorio del patógeno, tal es el caso de las plantas ornamentales y especies nativas, que al no generar un impacto económico directo, no son foco de atención por parte de la comunidad científica, que a su vez, pueden llegar a generar un impacto ecológico mayor.

Debido a la importancia de generar estrategias de control sobre *Alternaria* spp., se incluyen la utilización de control químico; no obstante, estos causan consecuencias negativas en los consumidores del cultivo, y al aplicarlo, pueden afectar de manera colateral a microorganismos benéficos del suelo, además, el manejo adecuado de las enfermedades podría reducir la capacidad de los patógenos de generar estructuras de resistencia y permanecer latentes en el suelo.

La utilización de métodos preventivos como el uso de productos biológicos y naturales y las prácticas agrícolas como la rotación de cultivos, desinfección de maquinaria y materiales podrían reducir la incidencia y severidad de los patógenos. El uso de control biológico como una estrategia contra fitopatógenos, resulta ser una vía favorable para mejorar la calidad del suelo que repercute positivamente en la salud vegetal, aunque suelen ser métodos con acción a corto y mediano plazo, tienen mejores beneficios a largo plazo. En los ejemplos presentados en esta revisión que son más utilizados en la agricultura, como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., que además de ser antagonistas eficaces, tienen la capacidad de fijar elementos esenciales para los cultivos, son promotores del crecimiento vegetal e inducen a la resistencia sistémica

de las plantas hacia los patógenos (González-León *et al.*, 2022). Esto se ha probado en diversos estudios aplicados al control *in vitro* e *in vivo* contra *Alternaria* spp. (Ríos-Velasco *et al.*, 2016), con resultados prometedores y de aplicación directa para los productores (González-Chingate *et al.*, 2020). Además, se han explorado otras alternativas naturales, como el uso de extractos vegetales o de microalgas, aceites esenciales y el quitosano, ya que estos producen compuestos que le confieren su capacidad antagonista, además, no dañan la microbiota del suelo.

La aplicación del control biológico y orgánico para controlar *Alternaria* spp., o cualquier otro fitopatógeno presenta dificultades debido al diagnóstico incorrecto de los patógenos, además, aún existen vacíos en cuanto a la información existente de las especies reportadas y a las costumbres sobre las prácticas agrícolas; por lo tanto es imperativo enfatizar la utilización de estrategias preventivas en el área agronómica con productos biológicos o naturales ya que tendría mejores resultados en cuanto a la fitosanidad y por ende, a la salud humana.

El complejo de especies de *Alternaria* tiene constantes cambios taxonómicos, incluye especies patógenas que representan pérdidas económicas en cultivos agrícolas. Oficialmente, se han reportado nueve especies en 23 hospederos cultivables; sin embargo, aún existen vacíos en distintos cultivos, en especies ornamentales, forestales y nativas. Las dificultades sobre el control adecuado de las enfermedades causadas por *Alternaria* spp. y otros patógenos, surge debido al diagnóstico incorrecto de las enfermedades. En esta revisión, se dilucidan los tipos de control con algunos ejemplos para México y el estado actual sobre la utilización y avances sobre vías alternas al control químico, a través de pruebas de antagonismo mediante microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Brevibacterium* spp. y *Pseudomonas fluorescens*, que son especies ampliamente estudiadas y viables para utilizarse como agentes de control biológico, debido a sus interacciones benéficas, además del uso de control natural con quitosano, extractos vegetales y de microalgas, que presentan antagonismo sobre *Alternaria* spp., y actualmente el uso de nanopartículas, que pueden ser utilizados como métodos preventivos para el control de enfermedades.

Limitaciones

Esta revisión se limita a estudios publicados en inglés y español, lo que puede excluir literatura relevante en otros idiomas, así como la disponibilidad de artículos científicos completos y accesibles.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflicto de interés.

Financiamiento

No se obtuvo financiamiento para la elaboración de este manuscrito

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico durante los estudios de posgrado de la primera autora cuyo número de CVU en SECIHTI-México es 1311426.

Contribución de los autores

NMEM. Concepción del estudio, Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **JDLM.** Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **ESV.** Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **LMC.** Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **IRB.** Concepción del estudio, Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Ahmadpour A, Ghosta Y and Poursafar A. 2021. Novel species of *Alternaria* section *Nimbya* from Iran as revealed by morphological and molecular data. *Mycologia* 113(5): 1073–1088. <https://doi.org/10.1080/00275514.2021.1923299>
- Akimitsu K, Tsuge T, Kodama M, Yamamoto M and Otani H. 2014. *Alternaria* host-selective toxins: determinant factors of plant disease. *J Gen Plant Pathology* 80: 109–122. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0498-7>
- Allende-Molar R, Báez-Parra K, Salazar-Villa E y Rojo-Báez I. 2022. Biodiversidad de *Trichoderma* spp. en México y su uso potencial en la agricultura. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales* 25(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4297>
- Álvarez-García JA, Santoyo G y del Carmen Rocha-Granados M. 2020. *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 16(1): 01-10. <https://doi.org/10.33154/rlrn.2020.01.01>
- Ansari M, Ahmed S, Abbasi A, Hamad NA, Ali HM, *et al.* 2023. Nanopartículas de plata sintetizadas en verde: Un enfoque novedoso para mejorar el crecimiento y el rendimiento del tomate contra el tizón temprano. *Microorganisms* 11(4): 886. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040886>
- Arratia-Castro AA, Fernández-Herrera E, Gómez-Espinoza MG, Herrera-Flores TS, Moreno-Contreras MG. 2022. *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium verticillioides* identificados como agentes causales de la pudrición de la cabeza del brócoli en México. *Revista Chapingo Serie horticultura* 28(3): 175-188. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.03.003>
- Bacha SAS, Li Y, Nie J, Xu G, Han L. 2023. Comprehensive review on patulin and *Alternaria* toxins in fruit and derived products. *Frontiers in plant science* 14. 1139757. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1139757>
- Barnett HL and Hunter BB. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. 4ª. Ed. American Phytopathology Society, MN. 217 p. <https://es.scribd.com/document/478453438/claves-taxonomicas-Barnett-y-Hunter-1998-pdf>
- Baucom DL, Romero M, Belfon R and Creamer, R. 2012. Two new species of *Undifilum*, fungal endophytes of *Astragalus* (locoweeds) in the United States. *Botany* 90(9): 866-875. <https://doi.org/10.1139/b2012-056>
- Blagojevic JD, Vukojevic J and Ivanovic ZS. 2020. Occurrence and characterization of *Alternaria* species associated with leaf spot disease in rapeseed in Serbia. *Plant Pathology* 69 (5): 883-900. <https://doi.org/10.1111/ppa.13168>
- Camacho-Luna V, Flores-Moctezuma HE, Rodríguez-Monroy M, Montes-Belmont R, y Sepúlveda-Jiménez G. 2021. Inducción de la respuesta de defensa de plantas de cebolla en la interacción con *Trichoderma asperellum* y *Alternaria porri*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(4): 685-698. Epub 21 de febrero de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2683>
- Cerna-Chávez E, Orozco-Plancarte A, Ochoa-Fuentes YM, Landeros-Flores J, Jasso de Rodriguez, D, *et al.* 2024. Efectividad *in vitro* de nanopartículas de dióxido de silicio y grafeno combinadas con extractos de *Bacillus amyloliquefaciens* contra hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 15 (8). México, ME: e3140. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3140>
- Chacón-López A, Guardado-Valdivia L, Bañuelos-González M, López-García U, Montalvo-González E, *et al.* 2021. Effect of metabolites produced by *Bacillus atropheus* and *Brevibacterium frigoritolerans* strains on postharvest biocontrol of *Alternaria alternata* in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Biocontrol Science* 26(2): 67-74. <https://doi.org/10.4265/bio.26.67>
- Chavarría-Cervera ZL, Quezada-Salinas A, Valadez-Ramírez P, Chan-Cupul W, Castrejón-Antonio JE, *et al.* 2024. Agentes fúngicos causales de la enfermedad de la mancha negra en cactus (*Opuntia ficus-indica*) en Colima, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 42(2): 20. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2401-2>
- Companioni González, B, Domínguez Arizmendi, G y García Velasco, R. 2019. *Trichoderma*: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Bioteología Vegetal* 19(4): 237-248. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000400237&lng=es&tlng=es.

- Cook D, Gardner DR, Ralphs MH, Pfister JA, Welch KD, *et al.* 2009. Swainsonine concentrations and endophyte amounts of *Undifilum oxytropis* in different plant parts of *Oxytropis sericea*. Journal of Chemical Ecology 35: 1272-1278. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9710-9>
- Dang HX, Pryor B, Peever T and Lawrence CB. 2015. The *Alternaria* genomes database: a comprehensive resource for a fungal genus comprised of saprophytes, plant pathogens, and allergenic species. BMC Genomics 25;16(1):239. <http://doi.org/10.1186/s12864-015-1430-7>
- Delgado Ortiz JC, Cerna Chávez E, Ochoa Fuentes YM, and Beltrán Beache M. 2019. First report of *Alternaria embellisia* (syn. *Embellisia allii*) causing bulb canker or skin blotch on garlic in Mexico. Plant Disease 103(5): 1031-1031. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1171-PDN>
- DeMers M. 2022. *Alternaria alternata* como endófito y patógeno. Microbiología 168(3): 001153. <https://doi.org/10.1099/mic.0.001153>
- Domínguez-Serrano D, Yáñez Morales MJ, García Velasco R, Alanís Martínez I and Segura-León O. 2016. First Report of *Chrysanthemum morifolium* Leaf Spot Caused by *Alternaria* species in Mexico. American Phytopathological Society. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-15-0723-PDN>
- Espinosa-Vázquez MA, Espinoza-Medinilla EE, Orantes-García C, Garrido-Ramírez E and Rioja-Paradela TM. 2019. Salicylic acid and *Bacillus subtilis* as control of early blight (*Alternaria solani*) in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo 51(1): 161-171. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652019000100012&lng=es&tlng=en
- Espinoza-Verduzco MA, Santos-Cervantes ME, Fernández-Herrera E, Espinoza-Mancillas MG, Chávez-Medina JA *et al.* 2012. First report of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler causing inflorescence blight in *Jatropha curcas* in Sinaloa, Mexico. Canadian Journal of Plant Pathology 34(3): 455-458. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.688770>
- Fairchild, KL, Miles, TD y Wharton, PS. 2013. Assessing fungicide resistance in populations of *Alternaria* in Idaho potato fields. Crop Protection 49: 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.03.003>
- Félix-Gástelum R y Gálvez-Figueroa CA. 2002. Control del Moho Negro, *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) en el Fruto de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Considerando Unidades Calor y Variables Ambientales para la Aplicación de Azoxystrobin en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 20:72-76. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61220112.pdf>
- Félix-Gástelum R, Herrera- Rodríguez G, Leyva-Madrigal KY y Mora-Romero GA. 2023. Arvenses y ruderales como potenciales fuentes de inóculo de enfermedades en hortalizas en el norte de Sinaloa. Revista Mexicana de Fitopatología 41(4): 5. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2023-4>
- Fraire-Cordero ML, Nieto-Angel D, Cárdenas-Soriano E, Gutiérrez-Alonso G, Bujanos-Muñiz R, *et al.* 2010. *Alternaria tenuissima*, *A. alternata* y *Fusarium oxysporum* Hongos Causantes de la Pudrición del Florete de Brócoli. Revista Mexicana de Fitopatología, 28(1), 25-33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000100003&lng=es&tlng=es
- García-Espinoza JR. 2022. El cultivo de ajonjolí: etiología de la mancha foliar, manejo y fitosanidad de la semilla. Tesis de Maestría en Fitopatología y Medio Ambiente. Universidad Autónoma de Occidente. 115 p.
- García-León E, Mora-Romero GA, Beltrán-Peña H, Leyva-Madrigal KY, Valenzuela-Escoboza FA, *et al.* 2022. First report of *Colletotrichum truncatum* causing anthracnose of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) in Mexico. Plant Disease 106(10): 2754. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-22-0305-PDN>
- García-León E, Tovar-Pedraza JM, Valbuena-Gaona LA, Aguilar-Perez VH, Leyva-Madrigal KY *et al.* 2024. Identification of the causal agent of guar leaf blight and development of a semi-automated method to quantify disease severity. Tropical Plant Pathology. <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00676-y>
- Ghoneem KM, Al-Askar AA, El-Gamal SMA, Rashad EM, Elsherbiny EA, *et al.* 2023. Evidencia lítica y molecular de la enfermedad generalizada de la mancha foliar del cilantro causada por *Alternaria dauci*. Plants 12(22): 3872. <https://doi.org/10.3390/plants12223872>
- Gonzalez-Chingaté EJ, Liévano KS and Cubillos DD. 2020. Evaluación de la efectividad de antagonismo de *Trichoderma* sp. sobre diferentes hongos Fitopatógenos presentes en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Ciencias Agropecuarias 6(1): 19-34. <https://doi.org/10.36436/24223484.279>
- González-Díaz JG, García-Velasco R, Camacho-Cerón G y Nieto-Ángel D. 2011. Cancrosis en ramas de *Salix bonplandiana* Kunth causada por *Alternaria tenuissima* (Kunze ex Pers.) Wiltshire. Agrociencia 45(1): 75-86. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000100008&lng=es&tlng=es
- González-León Y, Ortega-Bernal J, Anducho-Reyes MA y Mercado-Flores Y. 2022. *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas 25: e520. Epub 26 de junio de 2023. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>

- Guerrero-Santana L y Vega-Camargo JA. 2024. Especies de *Alternaria* spp. asociadas a la pudrición de frutos de bell pepper establecidos bajo cubierta en Sinaloa. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 46 p.
- Gveroska B and Ziberoski J. 2012. *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent against *Alternaria alternata* on tobacco. Applied Technologies and Innovations 7(2): 67. DOI: 10.15208/ati.2012.9
- Hay F, Stricker S, Gossen BD, McDonald MR, Heck D, et al. 2021. *Stemphylium* leaf blight: A re-emerging threat to onion production in eastern North America. Plant Disease 105(12): 3780-3794. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-21-0903-FE>
- He J, Li D-W, Cui W-L and Huang L. 2024. Seven new species of *Alternaria* (Pleosporales, Pleosporaceae) associated with Chinese fir, based on morphological and molecular evidence. MycoKeys 101: 1–44. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.101.115370>
- Hernández-López G, Ventura-Aguilar RI, Correa-Pacheco ZN, et al. 2018. Nanostructured chitosan edible coating loaded with α -pinene for the preservation of the postharvest quality of *Capsicum annuum* L. and *Alternaria alternata* control, International Journal of Biological Macromolecules. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.094>
- Herrera Parra E, Bacab Pérez IM, Alejo JC, Tun Suárez JM y Ruíz Sánchez, E. 2011. Patogenicidad de *Fusarium solani* (Mart.) sacc. y *Alternaria alternata* (Fries) Keissler en *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. y su control *in vitro*. Fitosanidad 15 (4): 231-236. ISSN: 1562-3009. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209123682005>
- Infante D, Martínez B, González N y Reyes Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Revista de Protección Vegetal 24(1), 14-21. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002&lng=es&tlng=es
- Jayawardena RS, Hyde KD, Jeewon R, Ghobad-Nejhad M, Wanasinghe DN et al. 2019. One stop shop II: taxonomic update with molecular phylogeny for important phytopathogenic genera: 26–50. Fungal Diversity 94: 41–129. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00418-5>
- Kádasi Horáková M, Barta M, Tancik J, Pastirčák M and Pastirčáková K. 2024. First report of *Stemphylium vesicarium* causing leaf blight of onion in Slovakia. Journal of Plant Diseases and Protection 1-10. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00927-9>
- Kidd S, Halliday C and Ellis D. 2022. *Ulocladium* Preuss. Pp: 290-291. In: Descriptions of Medical Fungi. Vol. 4. CAB International. Wallingford, Reino Unido. 344 p.
- Lawrence DP, Rotondo F and Gannibal PB. 2016. Biodiversity and taxonomy of the pleomorphic genus *Alternaria*. Mycol Progress 15: 3. <https://doi.org/10.1007/s11557-015-1144-x>
- Leyva-Mir SG, Cervantes-García MA, Villaseñor-Mir HE, Rodríguez-García MF, García-León E et al., 2014. Diversidad de hongos en semilla de avena del Valle Central de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(spe8): 1379-1385. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001001379&lng=es&tlng=es.
- Li GQ, Huang HC and Acharya SN. 2003. Antagonism and biocontrol potential of *Ulocladium atrum* on *Sclerotinia sclerotiorum*. Biological Control, 28(1), 11-18. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00050-1)
- Lior G, Moshe R and Y C. 2018. Phenology-based management of *Alternaria* fruit rot in Pink Lady apples. Plant disease 102 (6). <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-17-0735-RE>
- Madrid-Molina M, Pérez-Álvarez S, Escobedo-Bonilla CM and Urías-García C. 2023. Application of *Trichoderma asperellum* in apple trees as a growth regulator and antagonist for the control of *Alternaria* sp. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 51(1), 13108. <https://doi.org/10.15835/nbha51113108>
- Mahmoud GAE, Abdel-Sater MA, Al-Amery E and Hussein NA. 2021. Controlling *Alternaria cerealis* MT808477 tomato phytopathogen by *Trichoderma harzianum* and tracking the plant physiological changes. Plants 10(9): 1846. <https://doi.org/10.3390/plantas10091846>
- Malandrakis A, Apostolidou ZA, Markoglou A and Flouri F. 2015. Fitness and cross-resistance of *Alternaria alternata* field isolates with specific or multiple resistance to single site inhibitors and mancozeb. European Journal of Plant Pathology 142: 489-499. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0628-5>
- Mariscal-Amaro LA, Rivera-Yerena A, Dávalos-González PA y Ávila-Martínez D. 2017. Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. Agrociencia 51(6): 673-681. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000600673&lng=es&tlng=es.
- Márquez-Licon G, Ortiz-Álvarez J, Tovar-Pedraza JM, Hernandez-Hernandez MA and Solano-Báez AR. 2025. Fungi causing anthracnose and foliar blight in *Plumeria* spp. in Mexico. Forest Pathology 55(3): e70018. <https://doi.org/10.1111/efp.70018>
- Martínez B, Infante D y Reyes Y. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. Revista de Protección Vegetal, 28(1), 1-11. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522013000100001&lng=es&tlng=es.

- Mata-Santoyo CI, Leyva-Mir SG, Camacho-Tapia M, Tovar-Pedraza JM, Huerta-Espino J *et al.* 2018. Agresividad de aislados de *Bipolaris sorokiniana* y *Alternaria alternata* en variedades de trigo en México. Revista Mexicana de Fitopatología 36(3): 432-443. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1803-3>
- Matas-Baca MÁ, García CU, Pérez-Álvarez S, Flores-Córdova MA, Escobedo-Bonilla *et al.* 2022. Morphological and molecular characterization of a new autochthonous *Trichoderma* sp. isolate and its biocontrol efficacy against *Alternaria* sp. Saudi Journal of Biological Sciences 29(4), 2620-2625. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.052>
- Michel-Aceves AC, Otero-Sánchez MA, Martínez-Rojero RD, Ariza-Flores R, Barrios-Ayala A. 2008. Control biológico *in vitro* de enfermedades fúngicas en tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Avances en Investigación Agropecuaria 12(3): 55-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83712272002>
- Mishra DN, Prasad L and Suyal U. 2025. Synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Trichoderma harzianum* and its bio-efficacy on *Alternaria brassicae*. Frontiers in Microbiology 16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1506695>
- Mondragón-Flores A, López Medina J, Ochoa Ascencio S y Gutiérrez Contreras M. 2012. Hongos asociados a la parte aérea del arándano en Los Reyes, Michoacán, México. Revista mexicana de fitopatología 30(2), 141-144
- Montiel-Salero D, Jiménez-Aguilar A, Ramírez-Sánchez SE, Ruiz-Juárez D, Guerrero-Andrade O *et al.* 2022. First report of *Alternaria alternata* causing the golden spot in xoconostle (*Opuntia matudae*) in Hidalgo, México. Revista Mexicana de Fitopatología 40(1): 130-144. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2107-3>
- Norris SM, Schaffer PA y Bander NB. 2021. *Chalastospora gossypii* in a Maine Coon cat: case report and literature review. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation. 33(5):975-978. <https://doi.org/10.1177/10406387211022298>
- Núñez-García PR, Márquez-Licona G, Solano-Báez AR, Contreras-Soto MB, Mora-Romero GA, *et al.* 2025. Occurrence of *Alternaria alternata* causing leaf blight of blueberry in Mexico. *Plant Health Progress*, 26(3), 373-376. <https://doi.org/10.1094/PHP-01-25-0027-BR>
- Ogada AR, Ezekiel MN, Jonah KB and Amuka O. 2021. Characterization of *Alternaria* species causing dark leaf spot disease on cabbages grown in Limuru and Nyeri, Kenya. *Plant Pathology & Quarantine* 11(1): 23–33. <https://doi.org/10.5943/PPQ/11/1/4>
- Ortiz-Moreno ML, Sandoval-Parra KX y Solarte-Murillo LV. 2019. *Chlorella*, ¿un potencial biofertilizante?. *ORINOQUIA*, 23 (2), 71-78. <https://doi.org/10.22579/20112629.582>
- Palemón-Alberto F, Ortega-Acosta SÁ, Sotelo-Leyva C, Toledo-Hernández E, Terrones-Salgado J. 2024. Primer reporte de *Alternaria arborescens* causante de mancha foliar en chile manzano (*Capsicum pubescens*). Enfermedad de plantas de Australasia. Notas 19, 18. <https://doi.org/10.1007/s13314-024-00541-6>
- Palm ME and Civerolo E. 1994. Isolation, pathogenicity and partial host range of *Alternaria limicola*, causal agent of mancha foliar de los cítricos in Mexico. *Plant Disease*. 78, 879–883. <https://doi.org/10.1094/PD-78-0879>
- Patriarca A. 2016. *Alternaria* in food products. *Current Opinion in Food Science* 11, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.08.007>
- Pedraza LA, López CA y Uribe-Vélez D. 2020. Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana* 25(1):112-125. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Poudel B, Velázquez-del Valle MG, Hernández-Lauzardo AN and Zhang S. 2019. First report of *Alternaria tomato* causing leaf spot on sunflower in Mexico. *Plant Disease* 103(5): 1029-1029. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1173-PDN>
- Quiroga-Madriral R, Rosales-Esquinca M, Rincón-Espinosa P, Hernández-Gómez E y Garrido-Ramírez ER. 2007. Enfermedades causadas por hongos y nematodos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Municipio de Villaflores, Chiapas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25(2), 114-119. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61225204>
- Ramírez-Jiménez G, Alvarado-Gómez OG, Torres-de la Cruz M, Mayo-Hernández MA, Huamán-Pilco ÁF, *et al.* 2025. Caracterización y sensibilidad a fungicidas de hongos causantes de deterioro postcosecha en *Allium sativum*, Nuevo León, México. Revista mexicana de fitopatología 43(2), RMEXFIT24062. Epub 29 de julio de 2025. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2406-2>
- Rangel-Ortiz E, Landa-Cansigno O, Páramo-Vargas J y Camarena-Pozos DA. 2023. Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México. *Acta universitaria*, 33, e3749. Epub 29 de septiembre de 2023. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3749>
- Reyes-Tena A, Montoya-Martínez AC, Fernández-Pavía SP, Santillán-Mendoza R, Jiménez-Villegas A, *et al.* 2024. Onion leaf blight caused by *Alternaria alternata sensu lato* and *Stemphylium vesicarium* in Michoacán, México. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 46(2): 79–88. <https://doi.org/10.1080/07060661.2023.2277819>
- Rios Velasco C, Caro Cisneros JM, Berlanga Reyes DI, Ruiz Cisneros MF, Ornelas Paz JJ *et al.* 2016. Identification and antagonistic activity *in vitro* of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi. Revista Mexicana de Fitopatología 34(1), 85-99. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1507-1>

- Rivas LM y Mühlhauser M. 2014. *Alternaria* spp. Revista Chilena de Infectología 31(5): 605-606. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000500013>
- Rodríguez-Guzmán CA, González-Estrada RR, Bautista-Baños S y Gutiérrez-Martínez P. 2019. Efecto del quitosano en el control de *Alternaria* sp. en plantas de jitomate en invernadero. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 22: e161. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.161>
- Rodríguez-Romero VM y Martínez-Ramírez N. 2023. Actividad antifúngica de residuos de mamey contra *Alternaria* spp. Pádi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI 10(20), 40-43. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9180>
- Rodríguez-Romero VM, Villanueva-Arce R, Trejo-Raya AB y Bautista-Baños S. 2019. Quitosano y extractos de *Pseudomonas fluorescens* para el control de *Alternaria alternata* en jitomate (*Solanum lycopersicum*). Revista Mexicana de Fitopatología 37(2): 202-219. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1812-2>.
- Ruiz-Sánchez E, Mejía-Bautista MÁ, Serrato-Díaz A, Reyes-Ramírez A, Estrada-Girón Y, et al. 2016. Actividad antifúngica e identificación molecular de cepas nativas de *Bacillus subtilis*. Agrociencia, 50 (2), 133-148. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000200133&lng=es&tlng=en.
- Saavedra SC, Ventura-Aguilar RI, Bautista-Baños S and Barrera-Necha LL. 2020. Biodegradable chitosan coating for improving quality and controlling *Alternaria alternata* growth in figs. World Journal of Advanced Research and Reviews 7(2): 115-125. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2020.7.2.0246>
- Salas-Marina M, Hernández-Eleria G, Hernández-García V, Rios C, Cisneros M, et al. 2021. *Salmea scandens* (Asteraceae) extracts inhibit the growth of *Fusarium oxysporum* and *Alternaria solani* pathogens of tomato. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo. 53. 262-273. <https://doi.org/10.48162/rev.39.025>
- Schmid B, Coelho L, Schulze PS, Pereira H, Santos T, et al. 2022. Antifungal properties of aqueous microalgal extracts. Bioresource Technology Reports, 18. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101096>
- Simmons EG. 2007. *Alternaria*. An identification manual. CBS Biodiversity Series 6. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands.
- Sirelkhatim S, Mahmud S and Seeni A. 2015. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. Nanomicro Letters 7: 219-242. <https://doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>
- Soto Mendivil EA, Moreno Rodríguez JF, Estarrón Espinosa M, García Fajardo JA y Obledo Vázquez EN. 2006. Composición química y actividad fungicida del aceite esencial de *Thymus vulgaris* contra *Alternaria citri*. e-Gnosis (4):0. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000416>
- Sunitha M and Jha PK. 2023. Influence of inoculum density of *Alternaria brassicae* on development of *Alternaria* leaf spot in cauliflower. Biological forum, 15(9):588-591. https://www.researchgate.net/publication/379153078_Influence_of_Inoculum_Density_of_Alternaria_brassicae_on_Development_of_Alternaria_leaf_Spot_in_Cauliflower#fullTextFileContent
- Tovar-Pedraza JM, Solano-Báez AR, Leyva-Mir SG, Tlapal-Bolaños B, Camacho-Tapia M, et al. 2024. The need and opportunity to update the inventory of plant pathogenic fungi and oomycetes in Mexico. Journal of Fungi 10: 395. <https://doi.org/10.3390/jof10060395>
- Tovar-Pedraza JM y García-León E. 2025. Hongos causantes de enfermedades en cultivos de importancia económica en Sinaloa: Una lista actualizada. Bioc Scientia 1(1). <https://doi.org/10.63622/RBS.2505>
- Troncoso-Rojas R, Sánchez-Estrada A, Ruelas C, García HS and Tiznado-Hernández ME. 2005. Effect of benzyl isothiocyanate on tomato fruit infection development by *Alternaria alternata*. Journal of the Science of Food and Agriculture 85(9): 1427-1434. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2129>
- Vásquez-López A, Hernández-Castro E, Mora-Aguilera JA, Nava-Díaz C y Sánchez-García F. 2012. Etiología y epidemiología de la necrosis de flores y frutos juveniles del papayo (*Carica papaya* L.) en Guerrero, México. Agrociencia 46(8): 757-767. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30225072001>
- Velásquez-Valle R, Amador-Ramírez MD, Medina-Aguilar MM y Lara-Victoriano F. 2007. Presencia de patógenos en almácigos y semilla de chile (*Capsicum annuum* L.) en Aguascalientes y Zacatecas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25(1), 75-79. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000100010&lng=es&tlng=en
- Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM, et al. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. Acta Agronómica 64 (2): 194-205. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43358>
- Wang L, Hu C and Shao L. 2017. The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. Internal Journal of Nanomedicine 12:1227-1249. <https://doi.org/10.2147/IJN.S121956>

- Watanabe, T. 2002. Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. CRC press.
- Woudenberg JH, Groenewald JZ, Binder M and Crous PW 2013. *Alternaria* redefined. *Studies in Mycology* 75(1):171-212. <https://doi.org/10.3114/sim0015>
- Woudenberg JH, van der Merwe NA, Jurjević Ž, Groenewald JZ and Crous PW. 2015. Diversity and movement of indoor *Alternaria alternata* across the mainland USA. *Fungal Genetics and Biology*. *Fungal Genetics and Biology* 81: 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.05.003>
- Wu, YX and von Tiedemann, A. 2001. Physiological effects of azoxystrobin and epoxiconazole on senescence and the oxidative status of wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 71(1), 1-10. <https://doi.org/10.1006/pest.2001.2561>
- Yang LN, He MH, Ouyang HB, Zhu W, Pan ZC, *et al.* 2019. Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology* 19, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8>
- Yessimseitova A, Abdrakhmanova A, Tokbergenova Z, Abdullaeva B, Muranets A, *et al.* 2025. Identificación y caracterización de especies de *Alternaria* que causan el tizón temprano en el tomate en Kazajstán. *Agronomy* 15 (5), 1251. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051251>
- Zárate-Ramos A, Quero-Carrillo AR, Miranda-Jiménez L, Nava-Díaz C and Robles-Yerena L. 2022. Fungicides and *Bacillus subtilis* against fungi isolated from commercial seed of Side oats grama (*Bouteloua curtipendula*). *Revista mexicana de fitopatología* 40(1), 103-115.
- Zavaleta-Mejía E. 1999. Alternativas de manejo de las enfermedades de las plantas. *Terra Latinoamericana*, 17 (3),201-207. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317304>
- Zepeda-Jazo I. 2018. Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15(1), 99-108. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000100099&lng=es&tlng=es