



Artículo de Revisión

Alternativas agroecológicas para contrarrestar enfermedades en cultivos de *Capsicum*

Wendy Abril Coyotl-Pérez¹, Mariana Flores-Hernández², Cesar Agustín Ramírez-Díaz², Nemesio Villa-Ruano^{3*}, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal, Santa Inés Tecuexcomac, Tepetitla Tlaxcala, CP 90700, México¹. Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, CENAGRO-Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, San Pedro Zacachimalpa, Puebla CP 72960, México². SECIHTI-Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla CP 72570, México³.

*Autor de Correspondencia:
Nemesio Villa-Ruano
nemesio.villa@secihti.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
23 Noviembre, 2024
Aceptado:
01 Octubre, 2025
Publicado:
07 Octubre, 2025

Cita:
Coyotl-Pérez WA, Flores-Hernández M, Ramírez-Díaz CA y Villa-Ruano N. 2025. Alternativas agroecológicas para contrarrestar enfermedades en cultivos de *Capsicum*. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 94. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-20>

RESUMEN

Justificación. Los frutos de *Capsicum* spp. son ampliamente conocidos y comercializados a nivel mundial por su relevancia en la gastronomía y la industria farmacéutica. Las cinco especies más importantes son *C. annum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*; sin embargo, hasta el momento se han registrado más de 43 especies silvestres. Las plantas y frutos de chile son susceptibles a enfermedades causadas por bacterias y hongos fitopatógenos, por lo que se utilizan rutinariamente productos de origen sintéticos para controlarlos. Estos generan efectos secundarios graves para el medio ambiente y la salud humana. De manera similar, el uso de estos compuestos induce mayor resistencia microbiana y enfermedades cada vez más severas en los cultivos. Por lo anterior, esta revisión aborda las principales enfermedades que afecta al cultivo del chile, así como las alternativas agroecológicas de biocontrol con antagonistas y el uso de bioproductos vegetales para reducir la incidencia y severidad de las enfermedades.

Marco teórico y experimental. Se realizó una revisión bibliográfica actualizada en torno a las enfermedades que afecta a distintas especies de chile, así como de las alternativas agroecológicas para su control.

Conclusiones y Perspectivas. La producción de chile enfrenta retos por enfermedades y el uso excesivo de agroquímicos que provocan resistencia microbiana y daños ambientales. Los microorganismos antagonistas, extractos y aceites esenciales de plantas ofrecen una alternativa agroecológica viable para controlar fitopatógenos sin impactos negativos. Aunque estas estrategias aportan beneficios a mediano y largo plazo, se requiere más investigación para controlar enfermedades virales y lograr una producción sostenible.

Palabras clave: Aceites esenciales, Extractos naturales, Antagonismo, Microorganismos



INTRODUCCIÓN

Todas las plantas de Chile pertenecen al género *Capsicum*, dentro de la familia de las solanáceas. Se tienen registradas alrededor de 43 especies nativas que crecen en regiones tropicales de América. Las especies domesticadas y que tienen importancia económica son *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens* (Ali *et al.*, 2016; Banya *et al.*, 2020). Los frutos de *Capsicum* spp. son consumidos en todo el mundo debido a su contenido nutricional y nutracéutico (Kulkarni *et al.*, 2017; Coyotl-Pérez *et al.*, 2025).

La producción mundial de *Capsicum* es de aproximadamente de 25.7 millones de toneladas, con un crecimiento anual de 3.2 % debido a su uso como condimento en la gastronomía, industria alimentaria y como principio activo la capsaicina en la industria farmacéutica (Kulkarni *et al.*, 2017). Los principales países productores son China con el 50 % de la producción mundial, seguido de México (9 %), Turquía (7 %), Indonesia (7 %) y España (3.5 %) (Shisia, 2017). Sin embargo, la producción de este cultivo se ve afectada por diversas enfermedades, lo cual se refleja en pérdidas que oscilan entre 10 y 50 % de los rendimientos según la enfermedad. Entre las principales afectaciones se encuentran las de origen fúngico, bacteriano, viral, nematológico y fisiológico (Shahid *et al.*, 2017; Anjum *et al.*, 2020; Pérez-Vásquez *et al.*, 2022).

En los últimos años, se han empleado plaguicidas sintéticos para controlar enfermedades en las plantas como triazoles, estrobilurina, fenilamidas piretroides, entre otros (Esyanti *et al.*, 2020). No obstante, el uso excesivo y prolongado de estos productos ha ocasionado problemas ambientales, como la contaminación del suelo, mantos acuíferos y del aire (Khatun *et al.*, 2023). Lo anterior afecta colateralmente a organismos benéficos como insectos y microorganismos del suelo, desequilibrando los agroecosistemas y perturbando a la salud de una vasta cantidad de animales incluyendo a los seres humanos. Preocupantemente, se ha observado un incremento en la resistencia de los agentes causales de las enfermedades por el uso de estos productos sintéticos. Dado este problema, existe la necesidad de contar con mejores productos/estrategias amigables con el ambiente para la regulación de estas enfermedades. En la búsqueda de alternativas efectivas, sustentables y más seguras para los seres humanos y el medio ambiente, se considera a los aceites esenciales y volátiles como una fuente potencial de productos fitosanitarios (Abdelhamaid *et al.*, 2020; Chacón *et al.*, 2021).

Generalidades del género *Capsicum*

Capsicum pertenece a la familia Solanaceae y abarca variedades de chiles que se distinguen por su tamaño, forma, color y pungencia (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015). Este género se caracteriza por presentar hojas alternas enteras o divididas. Con frecuencia, las hojas florales o las brácteas se unen al eje floral. Esto favorece la disposición de las hojas en pares y la posición extra-axilar de las flores e inflorescencias. Las estructuras reproductivas son hermafroditas y regulares, constan de cinco sépalos, cinco pétalos y cinco estambres. El fruto es una baya carnosa, hueca y en forma de cápsula, que contiene las semillas depositadas en lóculos.

Principales especies comerciales del género *Capsicum*

C. annuum, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. baccatum* son las cinco especies comerciales más importantes a nivel mundial (Figura 1). Sin embargo, la

biodiversidad de este género se extiende hasta 43 especies reportadas en zonas tropicales de América (Coyotl-Pérez *et al.*, 2025).

La producción de frutos de chile genera una derrama económica significativa a nivel mundial. En el 2022, China destinó 759,817 ha para producir 16,837,404.78 t obteniendo ganancias de 3.16 mil millones de dólares aproximadamente. En México, se utilizaron 156,718 ha para producir 3,113,244.27 t generando una ganancia aproximada de 1,047 millones de dólares. Turquía contó con 76,398 ha y produjo 3,018,775 t con ganancias de 161 millones de dólares. La India produjo 74,292.01 t en 8,714 ha, obteniendo ganancias de 1.2 mil millones de dólares. En España, se destinaron 22,260 ha para la producción, alcanzando 1,533,280 t y recaudando aproximadamente 170 millones de dólares (Odepa, 2024).

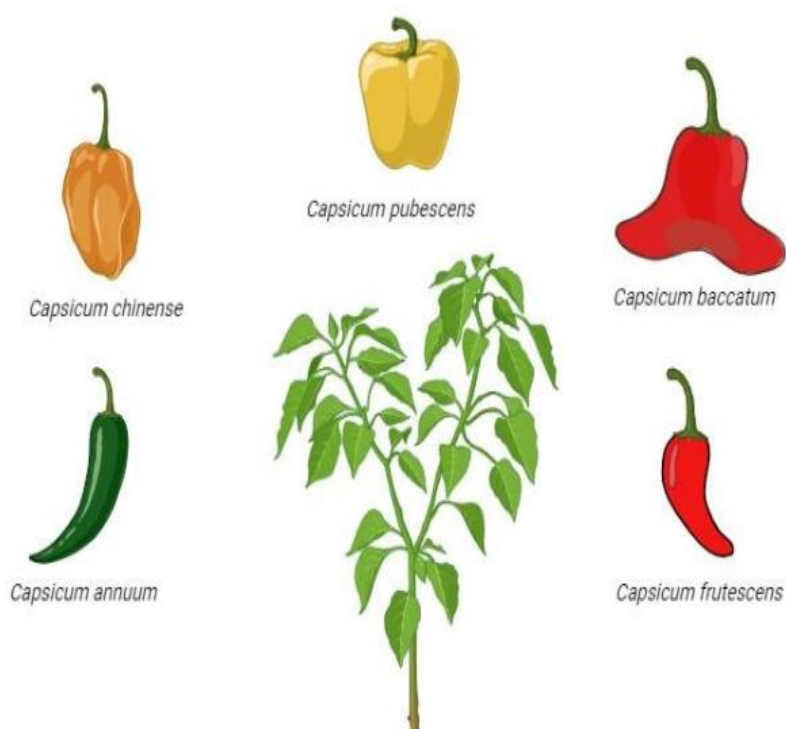


Figura 1. Fenotipos de frutos de las especies domesticadas de *Capsicum*.

Problemas fitosanitarios en especies comerciales del género *Capsicum*

Los problemas fitosanitarios pueden ser causados por enfermedades asociadas a microorganismos o virus al igual que plagas de insectos. Estas pueden afectar el rendimiento y calidad de los frutos, así como a la vida útil de la planta. Se estima que el 40 % de las enfermedades que afectan a las plantas de chile son de origen fúngico, seguido por enfermedades bacterianas, virales y causadas por nematodos (Landa, 2012; Kulkarni *et al.*, 2017). Los cultivos de chile tienen una alta demanda hídrica y porcentaje de humedad relativa, este último factor, es un promotor de crecimiento para hongos fitopatógenos. Algunas investigaciones sustentan que los principales patógenos asociados a cultivos de chile son *Fusarium*, *Pythium* y *Botrytis* (Schroeder *et al.*, 2015; Romero-Arenas *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022). Sin embargo, existen otros microorganismos patógenos con alta incidencia como *Phytophthora capsici*, *Xanthomonas campestris*, *Alternaria* spp.,

Verticillium spp., *Rhizoctonia* spp., *Leveillula taurica*, *Ralstonia solanacearum*, *Erwinia carotovora*, entre otros (Klosterman *et al.*, 2009; Pérez-Acevedo *et al.*, 2017; Esyanti *et al.*, 2020; Canseco, 2023). Por otro lado, se ha reportado la presencia de virus que enferman hojas, tallos y frutos como *Tobamovirus tabaci* (Virus del mosaico del tabaco-TMV), *Tombusvirus lycopersici* (Virus del atrofiamiento arbustivo del tomate-TBSV), *Potyvirus capsimaculae* (Virus del moteado del pimiento-PepMoV), *Potyvirus potato virus Y* (Virus Y de la papa-PVY), *Begomovirus capsicumhuastecoense* (Virus del amarillamiento de las nervaduras de huasteco en pimiento-PHYVV) y *Begomovirus capsicummusivi* (Virus del mosaico dorado del pimiento-PepGMV) (Rentería-Canett *et al.*, 2011; Landa, 2012; Velásquez-Valle *et al.*, 2013; González-Franco *et al.*, 2014).

Enfermedades causadas por hongos en *Capsicum* spp.

***Fusarium* spp.** Algunas especies de este género son consideradas como hongos saprófitos ya que reducen el rendimiento de los cultivos de chile (Mejía-Bautista *et al.*, 2016). Estos microorganismos generan enfermedades como la pudrición blanda y marchitez o tristeza. Dichas patologías están asociadas a síntomas como pudrición de raíces primarias y secundarias, manchas foliares, clorosis, defoliación, marchitez vascular, necrosis en tallos y raíces, y bajo rendimiento de frutos (Figura 2A) (Villanueva-Arce *et al.*, 2013; Mejía-Bautista *et al.*, 2016; Verma *et al.*, 2020). La pudrición en fruto se caracteriza por lesiones que progresan rápidamente hasta que la fruta se descompone y desprende un olor fétido (Figura 2A) (Pérez-Vázquez *et al.*, 2022; Romero-Arenas *et al.*, 2022). Esta enfermedad afecta principalmente a los frutos maduros que se encuentran en zonas con alta humedad, temperaturas cálidas y con heridas mecánicas o daños causados por insectos (Chacón *et al.*, 2021; Coyotl-Pérez *et al.*, 2022).

***Pythium* spp.** Las especies de este género de oomycetos (falsos hongos) habitan en agua y suelos además de que son conocidos como patógenos presentes en cultivos de gran valor económico como berenjena (*Solanum melongena*), mostaza (*Sinapis alba*), papaya (*Carica papaya*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), chile (*Capsicum annum*), entre otras especies (Verma *et al.*, 2020). *Pythium* spp., induce la pérdida de vigor de la plántula y raíces del chile. Los síntomas son la pudrición de las semillas, raíces, frutos, pérdida de turgencia foliar y ápices cloróticos (Figura 2B); en el crecimiento de las plantas infectadas presenta un retraso que da origen al marchitamiento foliar (Schroeder *et al.*, 2006). Las especies *P. ultimum* y *P. aphanidermatum* tienen una alta incidencia y causan problemas tanto en cultivos en campo abierto como en invernaderos. Como consecuencia, se produce una mayor tasa de ablandamiento o pudrición del fruto (Verma *et al.*, 2020).

***Botrytis* spp.** El principal síntoma de este género es la pudrición gris. Se trata de una enfermedad difícil de erradicar siendo *Botrytis cinerea* la principal especie que ocasiona graves pérdidas en frutos de chile durante la postcosecha (Figura 2C). La sintomatología incluye pequeñas motas en hojas y flores que se convierten en manchas necróticas de color marrón que, en última instancia, pueden abarcar toda la hoja provocando marchitamiento. Adicionalmente, el tallo puede presentar lesiones necróticas alargadas, hundidas y de color marrón o negro (Wang *et al.*, 2022).

***Alternaria* spp.** Estos hongos producen pequeñas manchas foliares concéntricas que van del color verde al marrón oscuro. Los síntomas en tallos son hundidas, alargadas y oscuras que generan marchitez o muerte regresiva. Mientras que, en frutos son lesiones con esporulación de moho oscuro de color oscuro que se transforman en manchas hundidas,

necróticas concéntricas (Figura 2F) (Canseco, 2023). Además, estos hongos son capaces de generar daño a las semillas reduciendo su viabilidad, así como inducir defoliación severa dejando a los frutos expuestos a la radiación UV. Esto último, reduce significativamente la calidad y rendimiento de los frutos de Chile (Cambiagro, 2021; Canseco, 2023).

***Phytophthora* spp.** El género *Phytophthora* es catalogado como oomiceto que induce marchitez y muerte en plantas de Chile, siendo *P. capsici* el principal microorganismo (Esyanti *et al.*, 2020). Este patógeno provoca pudrición de semillas, tizón foliar y marchitamiento principalmente en plántulas jóvenes ya que son más susceptibles (Verma *et al.*, 2020). En la fase de crecimiento, las plántulas pueden mostrar pudrición de raíz y tallo, marchitez general, enanismo y formación de chancros. En plantas adultas, la infección por este patógeno genera principalmente pudrición de las raíces, tallos, frutos y marchitez (Figura 2D) (Esyanti *et al.*, 2020; Quispe-Quispe *et al.*, 2022).

***Rhizoctonia* spp.** *Rhizoctonia* está conformado por un grupo de hongos adelomicetos ya que es un hongo imperfecto que no presenta estructuras de reproducción como las esporas. Su reproducción es por fragmentación de micelio y esclerocios (Vaishnav y Meena, 2014). Estos microorganismos producen tizón del tallo y pudrición de la raíz causando necrosis (Figura 2H) (Pérez-Acevedo *et al.*, 2017). Un estudio sostiene que *Rhizoctonia solani* tiene mayor agresividad en *C. annuum* debido a una mayor afinidad y velocidad de infección. Con base a lo anterior, la habilidad competitiva de estos hongos en el suelo de cultivos a cielo abierto permite una mayor supervivencia y diseminación de dicho microorganismo en relación a otros como *Pythium* o *Phytophthora* (Verma *et al.*, 2020).

***Verticillium* spp.** Grupo de hongos promotores del marchitamiento de plantas, cuyo proceso infeccioso inicia en las hojas inferiores debido a diversos factores como exceso de agua, altas temperaturas, entre otras. Las hojas presentan una coloración verde pálido que evoluciona a necrosis rodeada de un halo anaranjado-amarillo (Figura 2G). Aunado a lo anterior, existe una pérdida total de la planta debido a la pudrición de la raíz (Klosterman *et al.*, 2009).

***Leveillula taurica*.** Microorganismo que pertenece a los ascomicetos que genera cenicilla y causa manchas cloróticas en las hojas (Figura 2I). Este síntoma de enfermedad está ligado al mildiú polvoriento que comienza en la parte abaxial de la hoja en forma de polvo blanco, casi grisáceo que va debilitando la hoja hasta alcanzar la defoliación con <40 % de humedad relativa (Field, 2020).

***Colletotrichum* spp.** Es un género de hongos filamentosos altamente agresivos en la agricultura y afectan principalmente a los frutos generando pérdidas entre el 10 y 80 % de la producción poscosecha (Ali *et al.*, 2016; Banya *et al.*, 2020). La enfermedad que causan estos hongos es conocida como antracnosis y se favorece por la alta humedad presente en frutos maduros de Chile (Sonawane y Shinde, 2021). Las principales especies asociadas en los cultivos de Chile son *C. coccodes*, *C. demetium* (hojas), *C. gloeosporioides*, *C. capsici*, *C. acutatum* (fruto), *C. truncatum* (frutos maduros) (Than *et al.*, 2008; Ali *et al.*, 2016; Sonawane y Shinde, 2021). Los frutos presentan lesiones hundidas de color rojo oscuro con anillos concéntricos conteniendo aglomeración de esporas (Banya *et al.*, 2020). Otra característica es la presencia de manchas marrón o negras e incluso color salmón donde se observan signos del patógeno (Ali *et al.*, 2016). Sin embargo, los síntomas varían dependiendo de la especie de *Colletotrichum* presente.

Enfermedades bacterianas en *Capsicum* spp.

***Xanthomonas campestris*.** La infección causada por *X. campestris* se manifiesta con la emergencia con manchas necróticas y halos cloróticos alrededor de la necrosis. Otros síntomas característicos de la presencia de la bacteria es la defoliación severa de las plantas de chile. Las lesiones tienen alta incidencia en las hojas y en los frutos incluyendo el pedúnculo y el cáliz por factores ambientales como la alta humedad relativa (>80 %), altas temperaturas o el estrés hídrico (Figura 2E) (López-Vielma *et al.*, 2016; Fasio *et al.*, 2001).

***Ralstonia solanacearum*.** Las plantas de chile infectadas por *R. solanacearum* muestran una disminución evidente en su crecimiento. Por otro lado, las hojas experimentan clorosis y marchitez, mientras que se desarrolla clorosis intervenal y epinastia foliar en los tallos (DGS, 2013). Esta bacteria se encuentra presente en el suelo desde donde penetra a través de las raíces y coloniza el sistema vascular de la planta generando un absceso interno que obstruye el transporte de agua y nutrientes. Esta alteración fisiológica induce un marchitamiento rápido (Figura 2J) (Conesa, 2020).

***Erwinia carotovora*.** Esta bacteria es reconocida por causar pudrición blanda en diversas especies de chile, afectando principalmente frutos, tallos y raíces (Figura 2K) (Kunstmann *et al.*, 2006). La enfermedad se manifiesta como manchas acuosas, blandas y de mal olor especialmente en tejidos previamente dañados. Su desarrollo es favorecido por temperaturas cálidas entre 28 y 35 °C, alta humedad relativa superior al 85 % y condiciones de exceso de agua como lluvias intensas o riego excesivo (López-Pérez y Sáenz, 2018)

Enfermedades causadas por virus en *Capsicum* spp.

***Tobamovirus tabaco* (TMV).** El virus del mosaico del tabaco (*Tobacco mosaic virus*) pertenece al género *Tobamovirus* el cual ocasiona pérdidas de hasta el 70 % de la producción de plantas de chile (Velásquez-Valle *et al.*, 2013). Además, es el de mayor incidencia ya que se transmite como consecuencia del daño mecánico ocasionado por la manipulación de plántulas durante su crecimiento (Figura 2L) (González-Franco *et al.*, 2014). La contaminación de las semillas de chile con TMV puede ser por vía endógena o exógena. Por lo anterior, las semillas contaminadas de manera exógena desarrollan hasta un 64 % de las plántulas con virus, mientras que de manera endógena solo el 15 % se ve afectada (Velásquez-Valle *et al.*, 2013). Por otra parte, existe la posibilidad de que las plántulas de chile sean infectadas por la presencia de vectores como el chapulín (*Sphenarium purpurascens*) o el minador (*Liriomyza trifolii*) de hoja e incluso se transmite a través de las raíces cuando hay sistemas de hidroponía.

***Tombusvirus lycopersici* (TBSV).** El virus del enanismo ramificado del tomate (*Tomato bushy stunt virus*) tiene alta incidencia en cultivos de chile de la zona norte de México. Infecta chile y otras solanáceas causando enanismo, ramificaciones excesivas, clorosis y reducción de tamaño de frutos (CABI, 2024). Este virus se transmite a través de las semillas o mediante el daño mecánico provocado por la infección de *Olpidium* spp. (González-Franco *et al.*, 2014).

***Potyvirus capsimaculae* (PepMoV).** El virus del moteado del chile es transmitido por áfidos como *Myzus persicae* o *Aphis gossypii* que se alimentan del floema de la planta de chile (Velásquez-Valle *et al.*, 2013). En la primera etapa de infección, se manifiesta necrosis sistémica, deceso apical de frutos, enanismo grave, foliolos pequeños y deformes.

En la segunda etapa, además de la clorosis sistémica los frutos de chile desarrollan ampollas y malformaciones (Bayer, 2025).

Potato virus Y (PVY). El Virus “Y” de la papa es un *Potyvirus* que tiene presencia en cultivos de chile en Puebla, Coahuila, Estado de México y Nuevo León. Este virus se transmite por semillas previamente infectadas y áfidos como *Myzus persicaes*, *Aphis gossypii* y *Macrosiphum euphorbiae* (González-Franco *et al.*, 2014). Es considerado uno de los virus más agresivos ya que causa necrosis de venas, pecíolos y tallos provocando la defoliación de la planta. Otros problemas derivados de la infección son el enanismo de plantas, aborto de las flores y producción de frutos pequeños o deformes (Velásquez-Valle *et al.*, 2013).

Begomovirus capsicumhuastecoense (PHYVV). El virus huasteco de la vena amarilla del chile pertenece al grupo de los Begomovirus. La mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) es un vector que transmite simultáneamente el PHYVV y PepGMV. Las plantas de chile infectadas con este virus presentan hojas con clorosis en forma de mosaico, venas de color amarillo, follaje deforme y amarillento, así como menor producción de frutos (Velásquez-Valle *et al.*, 2013).

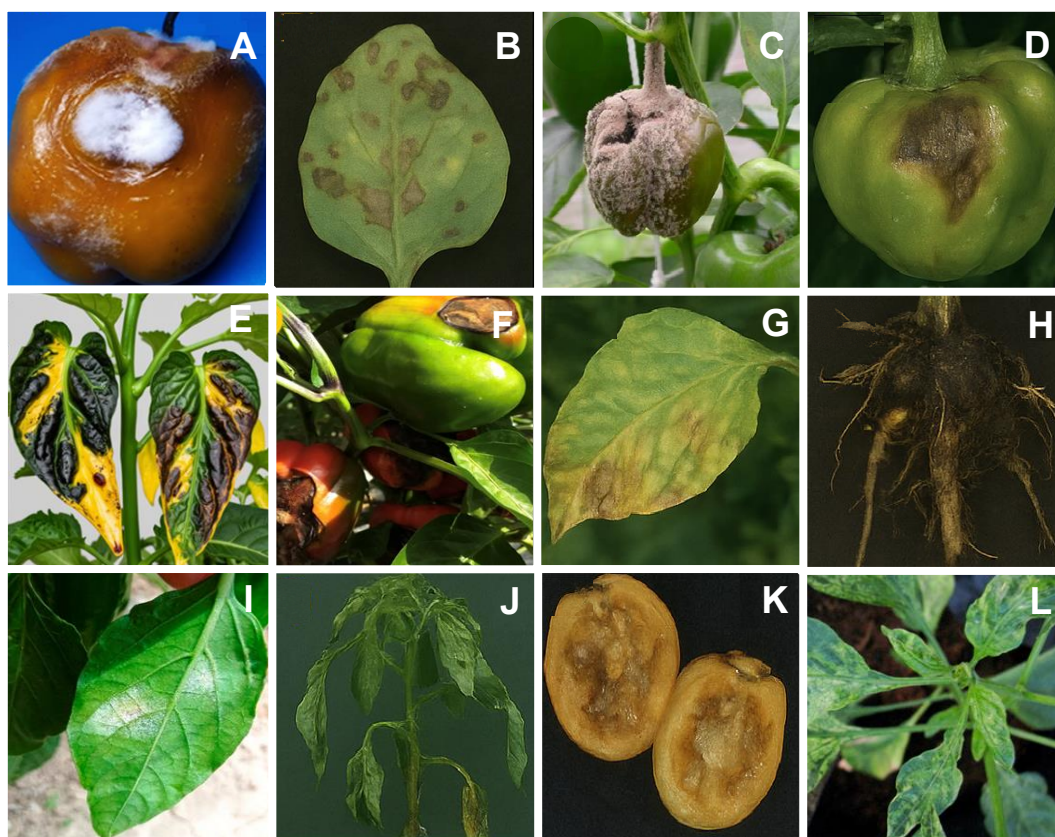


Figura 2. Sintomatología de enfermedades causadas por A) *Fusarium*, B) *Pythium*, C) *Botrytis*, D) *Phytophthora*, E) *Xanthomonas*, F) *Alternaria*, G) *Verticillium*, H) *Rhizoctonia*, I) *Leiveillula*, J) *Ralstonia*, K) *Erwinia* y L) TMV, en especies del género *Capsicum*.

Begomovirus capsicummusivi (PepGMV). El virus del mosaico dorado del chile ha tenido reportes en *C. annum* var. *glabriusculum*, *C. pubescens* y *C. chinense* (Landa, 2012). Aproximadamente el 43 % de la producción de estas especies se pierde. Sin embargo, el tipo mosaico foliar puede ser de color amarillo opaco o dorado, presentar arrugamiento y

deformación foliar además de clorosis intervenal, dependiendo del cultivar. El PepGMV es un virus que potencializa la infección de plantas por otros virus generando severos problemas como la senescencia temprana, debido a que las plantas enfermas cuyas hojas que emergen dentro de los 14 días, presentan distorsión y amarillamiento por la infección grave de PHYVV (Rentería-Canett *et al.*, 2011; Velásquez-Valle *et al.*, 2013).

Estrategias para el manejo de enfermedades en Chile

El control de fitopatógenos del género *Capsicum* se ha convertido en un desafío importante a nivel global (Kim y Lee, 2022). Como se ha mencionado anteriormente, las plantas de *Capsicum* son susceptibles a diversas enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus. Sin embargo, algunos síntomas pueden ayudar a determinar el posible agente causal, lo cual se puede corroborar con la observación de sus estructuras reproductivas (Figura 3); no obstante, siempre es pertinente realizar las pruebas de patogenicidad para confirmar que es el agente causal. Los principales métodos para el manejo de enfermedades se basan en el uso de fungicidas sintéticos, que resuelven una amplia gama de enfermedades, son fáciles de usar y tienen bajo costo. Sin embargo, contaminan significativamente el medio ambiente y afectan gravemente la salud pública causando intoxicación aguda, daños a órganos y en casos extremos, riesgo a contraer cáncer (Mejía-Bautista *et al.*, 2016).

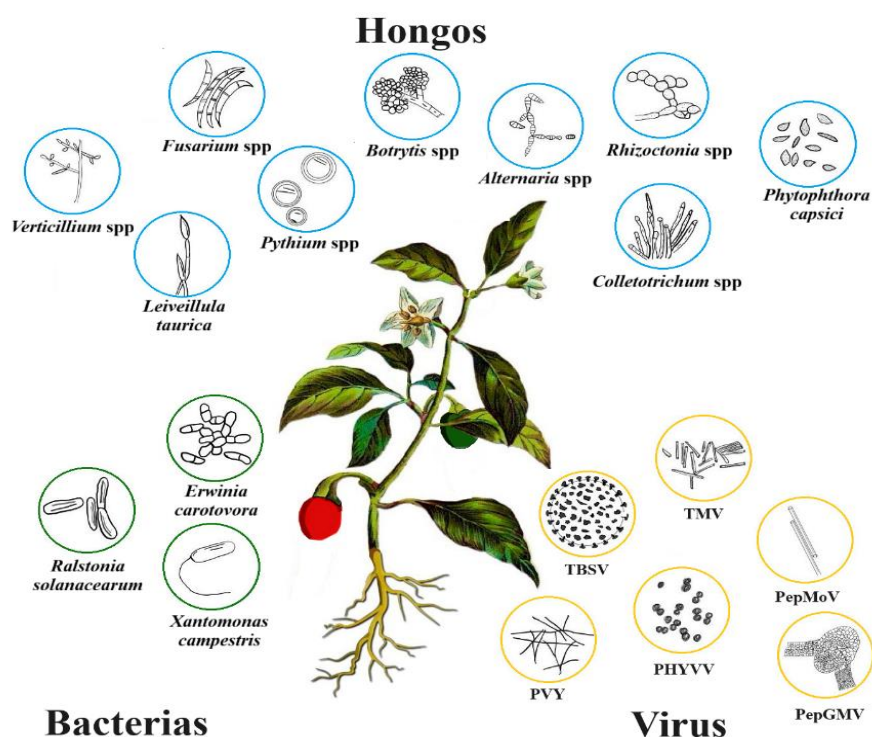


Figura 3. Principales patógenos causantes de enfermedades en cultivo de Chile.

Los efectos adversos de los agroquímicos promueven la aparición de especies microbianas resistentes que agravan las enfermedades, por lo cual, es imprescindible reemplazarlos con el uso paulatino de nuevos agentes agroecológicos (Cruz-Cerino *et al.*, 2020; Shcherban, 2023). En este contexto, una estrategia promisoría es el biocontrol

mediante el uso de organismos benéficos o antagonistas a fitopatógenos. Otro método es el diseño y formulación de fracciones químicas naturales con la capacidad de inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos al ser humano y fitopatógenos. Esta última alternativa genera alimentos más seguros y protege la calidad nutricional y nutracéutica de una gran variedad de productos agrícolas (Abdelhamid y El-Dougdoug, 2020; Pérez-Vázquez *et al.*, 2022). Por lo tanto, los aceites esenciales y los extractos estandarizados de plantas juegan un papel importante como antimicrobianos naturales que preservan la calidad y seguridad de los alimentos (Kim y Lee, 2022; Pérez-Vázquez *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022).

Estrategias de antagonismo. Los métodos antagónicos han revolucionado la agricultura debido a su fácil aplicación y bajo riesgo al medio ambiente. Estos métodos utilizan microorganismos controladores de bacterias y hongos en plantas de Chile. Los microorganismos antagónicos sintetizan metabolitos secundarios para inhibir el crecimiento de fitopatógenos (Mejía *et al.*, 2016). En ocasiones, los microorganismos antagonistas por sí solos no tienen la suficiente actividad para inhibir el crecimiento de fitopatógenos, lo cual da pauta al uso de consorcios de acción sinérgica que mejoran el rango de inhibición.

Entre los principales microorganismos antagónicos se encuentran *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* spp., *Bacillus subtilis* y *B. amyloliquefaciens*. Especies de *Bacillus* inhiben directamente el crecimiento de los fitopatógenos en la planta y estimulan la resistencia sistémica en el huésped. Así mismo, pueden inhibir la germinación de zoosporas y la elongación del tubo germinativo de los hongos en los tejidos del hospedante. *Bacillus* inhibe el crecimiento de fitopatógenos mediante varios mecanismos como el de producción de compuestos antimicrobianos (oligopéptidos y enzimas), compite por nutrientes y espacio, estimula las defensas naturales de la planta (resistencia sistémica), produce sideróforos que limitan el hierro disponible para los patógenos y forma biofilms protectores en las raíces (Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2024).

Se tiene documentado que *Bacillus* spp., tiene una alta efectividad en la reducción del tizón foliar causada por distintos hongos fitopatógenos (Quispe-Quispe *et al.*, 2022). Ante hongos del género *Fusarium* este grupo de bacterias produce lipopéptidos que modifican la pared celular de las hifas frenando su crecimiento (Radzhabov y Davranov, 2010; Gond *et al.*, 2015).

De cierta forma, los antagonistas entran en competencia con los fitopatógenos por consumir nutrientes y espacio (Anjum *et al.*, 2020). Este tipo de estrategias contribuyen a la sostenibilidad ecológica; sin embargo, conforme ocurren cambios en las condiciones del suelo, clima y prácticas agrícolas, los antagonistas pueden perder eficiencia (Jayapala *et al.*, 2019). A pesar de ser excelentes inhibidores de fitopatógenos, el tiempo de acción es más lento en comparación con los agroquímicos. Es por ello que los agricultores optan por utilizar agroquímicos convencionales buscando una solución rápida, eficiente y económica a expensas de los daños que generan a largo plazo (Abdelhamid y El-Dougdoug, 2020).

En términos generales, las estrategias de control biológico se mantienen como una excelente alternativa natural para controlar enfermedades en cultivos de Chile, mejorar su sostenibilidad y reducir el uso desmedido de agroquímicos (Liotti *et al.*, 2019; Anjum *et al.*, 2020). Sin embargo, es necesario mejorar la eficacia en términos de viabilidad y tiempo ante condiciones ambientales cambiantes. En este sentido, el uso de nuevos materiales biodegradables representa un área de oportunidad que debe ser explorada con especial ahínco.

Aplicación de aceites esenciales. Los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, inocuos, con distintas propiedades biológicas (Shahid *et al.*, 2017; Kim y Lee, 2022). Estos compuestos son acumulados como resultado de la biosíntesis de metabolitos secundarios en las plantas (Pandey *et al.*, 2017). La producción de metabolitos secundarios sirve como mecanismo de defensa de las plantas ante condiciones de estrés como el control de enfermedades (Kulkarni *et al.*, 2017; Kim y Lee, 2022; Coyotl-Pérez *et al.*, 2024). Dicha propiedad puede ser utilizada para fines biotecnológicos.

El mecanismo de acción de los aceites esenciales radica en su capacidad de generar cambios en la permeabilidad de la membrana, reduciendo la viabilidad de la bacteria (Hyldgaard *et al.*, 2012). En el caso de los hongos, el aceite esencial interfiere la germinación de los conidios afectando el crecimiento micelial debido a la presencia de terpenos, alcoholes, fenoles y cetonas. Además, se ha reportado que los conidióforos presentan deformaciones por los cambios en el gradiente electroquímico de Ca^{+2} , K^{+1} y Mg^{+2} (Kadogliou *et al.*, 2011; Pandey *et al.*, 2017). Así mismo, hay una reducción en la producción de ergosterol, el cual es el principal esteroide presente en la membrana celular de los hongos filamentosos. Lo anterior provoca un debilitamiento de las bicapas lipídicas y un desequilibrio osmótico, conllevando a la ruptura de los organelos celulares (Arora *et al.*, 2024). Otro mecanismo de acción es causado por la presencia de grupos hidroxilo en ciertos compuestos, los cuales tienen la capacidad de disgregar a los lípidos de la membrana (Kadogliou *et al.*, 2011). Sin embargo, el mecanismo de acción varía en función de la composición fitoquímica del aceite esencial y del tipo de microorganismo.

El uso de aceites esenciales es una alternativa agroecológica con amplia efectividad contra distintos fitopatógenos. Entre los aceites esenciales más utilizados se encuentran los de tomillo (*Thymus vulgaris*), menta (*Mentha piperita*), cúrcuma (*Curcuma longa*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), canela (*Cinnamomum verum*), clavo (*Syzygium aromaticum*), entre otros (Cuadro 1) (Ragab *et al.*, 2012; Pérez-Vázquez *et al.*, 2022; Arora *et al.*, 2023; Arora *et al.*, 2024). Estos aceites están constituidos por diversos compuestos volátiles como los terpenos con abundancias relativas diferentes, siendo los compuestos mayoritarios (por lo general) los responsables de las propiedades antimicrobianas (Ragab *et al.*, 2012). A pesar de ser inocuos, los aceites esenciales pueden ejercer ciertas reacciones alérgicas en personas sensibles a sus componentes, solo en casos muy raros (Arora *et al.*, 2023). Así mismo, la aplicación de aceites esenciales se considera una estrategia preventiva ya que cuando la planta presenta síntomas severos, la actividad de los aceites esenciales suele ser nula (Pérez-Vázquez *et al.*, 2022). Por lo tanto, es deseable aplicar estas fracciones químicas ante síntomas tempranos de infección para contrarrestar la propagación de la enfermedad. Pese a sus ventajas agroecológicas, el uso de aceites esenciales es costoso debido a los métodos de obtención como la hidrodestilación por arrastre de vapor, uso de solventes entre otros. Así mismo, los bajos rendimientos y fotosensibilidad limitan su uso a gran escala. Por lo anterior, nuevos métodos biotecnológicos son requeridos para la obtención de volátiles a gran escala, mismos que podrían ser potencialmente fusionados con nuevos materiales híbridos biodegradables para mejorar y preservar por más tiempo su efecto biológico.

Aplicación de extractos naturales. De manera natural, los extractos derivados de plantas poseen propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiparasitarias y aromáticas. Con base en lo anterior, los extractos de plantas se posicionan como bioproductos prometedores para controlar factores de estrés biótico en los cultivos incluyendo el chile (Shafique *et al.*, 2015;

Arora *et al.*, 2023). Además, son un canal agroecológico para asegurar la producción sostenible de alimentos (Cruz-Cerino *et al.*, 2020). Su uso en la agricultura promueve un mayor rendimiento y calidad de los productos hortícolas, reduce el uso de agroquímicos, cuida la nutrición de suelos y mantiene la integridad del medio ambiente (Godlewka *et al.*, 2021).

Cuadro 1. Estrategias agroecológicas para controlar principales patógenos causantes de enfermedades en plantas del género *Capsicum*.

Estrategia	Enfermedad	Fitopatógeno	Especie de <i>Capsicum</i>	Ubicación	Referencia
<i>Bacillus</i> sp.	Antracnosis	<i>Colletotrichum capsici</i> UOM-02	<i>C. annuum</i> cv.G-4	Semilla-Plántula	Jayapala <i>et al.</i> , 2019
<i>Trichoderma koningii</i> <i>Glomus mosseae</i>	Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>C. annuum</i>	Planta	Oyetunji y Salami, 2011
<i>Streptomyces griseocarneus</i> R132 (11 cepas)	Antracnosis	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> MPU99	<i>C. annuum</i> cultivar Ikeda	Fruto	Liotti <i>et al.</i> , 2019
	Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i> 46.7			
<i>Trichoderma asperellum</i> cepa T34		<i>Phytophthora capsici</i>	<i>C. annuum</i> cv. Dulce Italiano	Planta	Segarra <i>et al.</i> , 2013
<i>Trichoderma harzianum</i> <i>T. viride</i> <i>T. aureiviride</i>	Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>C. annuum</i>	<i>In vitro</i>	Ragab <i>et al.</i> , 2012
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>					
<i>T. hamatum</i>	Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>capsici</i>	<i>Capsicum</i> variedad LCA334	Raíz	Anjum <i>et al.</i> , 2020
<i>B. subtilis</i> (EPCO 16 y EPC5) <i>Pseudomonas fluorescens</i>		<i>Fusarium solani</i>	<i>C. annuum</i> cv. CO3	Planta	Sundaramoorthy <i>et al.</i> , 2012
		<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>pisi</i>			
<i>Bacillus</i> , <i>Staphylococcus</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Sphingomonas</i> sp. <i>Achromobacter</i> sp.		<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>capsici</i>	<i>C. annuum</i>	Plántula	Passari <i>et al.</i> , 2018
		<i>F. proliferatum</i>			
		<i>F. udum</i>			
		<i>R. solani</i> <i>C. capsici</i>			
<i>Bacillus</i> sp LBF-01	Pudrición	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>C. annuum</i>	Planta	Chowdhury <i>et al.</i> , 2020
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Antracnosis pudrición	<i>Colletotrichum capsici</i>	<i>Capsicum</i> spp.	Planta	Banya <i>et al.</i> , 2020
<i>Bacillus</i> spp.	Antracnosis	<i>Phytophthora capsici</i>	<i>Capsicum</i>	Planta	Quispe-Quispe <i>et al.</i> , 2022
<i>Murraya koenigii</i> <i>Glycyrrhiza glabra</i> <i>Anethum graveolens</i> <i>Polyalthia longifolia</i> <i>Melia azedarach</i> <i>Cassia fistula</i> <i>Thevetia peruviana</i>	-	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>C. annuum</i> cv. Pusa Jwala	Semilla	Arora <i>et al.</i> , 2023
		<i>Colletotrichum capsici</i>			
		<i>Pythium</i>			
		<i>aphanidermatum</i>			

C T O - N A T U R A L	<i>Eucaliptus citriodora</i>	Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>capsici</i>	10 variedades: <i>Golden hot,</i> <i>Revival, Hot chili,</i> <i>Saim hot, Sky red,</i> <i>P6, Neelam, Sitara,</i> <i>Anchal, Kundri</i>	Planta	Shafique <i>et al.</i> , 2015
	<i>Mosannonna depressa,</i> <i>Parathesis cubana,</i> <i>Piper neesianum</i>	Marchitez	<i>Fusarium equiseti</i> strain FCHE <i>Fusarium oxysporum</i> strain FCHJ	<i>C. chinense</i>	<i>In vitro</i>	Cruz-Cerino <i>et al.</i> , 2020
	<i>Azadirachta indica</i> <i>Swietenia mahagoni</i> <i>Allium sativum</i>	Antracnosis	<i>Colletotrichum</i> <i>capsici</i>	<i>C. annuum</i>	Planta	Rashid <i>et al.</i> , 2015
	<i>Abrus precatorius</i>	Podredumbre de la fruta	<i>Colletotrichum</i> <i>capsici</i>	<i>C. annuum</i> cv. K2	Planta y fruto	Ali <i>et al.</i> , 2016
A C E I T E - E S E N C I A L	<i>Anethum graveolens</i> <i>Thymus vulgaris</i> <i>Curcuma longa</i> <i>Eucalyptus globulus</i>	Marchitez, antracnosis	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum</i> <i>capsici</i> <i>Pythium</i> <i>aphanidermatum</i>	<i>C. annuum</i> cv. <i>Pusa Jwala</i>	Semilla Hoja Raíz Flor	Arora <i>et al.</i> , 2023
	<i>Zanthoxylum</i> <i>limoncello</i>	Pudrición blanda	<i>Fusarium</i> <i>temperatum</i>	<i>C. pubescens</i>	Fruto	Romero-Arenas <i>et al.</i> , 2022
	<i>Thymus</i>	Antracnosis	<i>Colletotrichum</i> <i>capsici</i>	<i>C. annuum</i>	Semilla Planta	Arora <i>et al.</i> , 2024
	<i>Mentha piperita</i>	Pudrición	<i>Fusarium</i> <i>sambucinum</i>	<i>C. pubescens</i>	Fruto	Pérez-Vázquez <i>et al.</i> , 2022
	<i>Cinnamomum verum</i> <i>Syzygium aromaticum</i> <i>Thymus vulgaris</i> <i>Citrus^s limon</i> <i>Mentha^x piperita</i> <i>Brassica juncea</i>	Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>C. annuum</i>	<i>In vitro</i>	Ragab <i>et al.</i> , 2012
	<i>Cymbopogon citratus</i>	Antracnosis	<i>Phytophthora capsici</i>	<i>C. annuum</i>	Fruto	Ali <i>et al.</i> , 2015
	<i>Piper auritum</i> Kunth		<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium equiseti</i>	<i>C. chinense</i>	<i>In vitro</i>	Chacón <i>et al.</i> , 2021

Una de las ventajas de utilizar los extractos naturales de plantas refiere a ser igual o más efectivos que los productos sintéticos para controlar la emergencia de enfermedades, con un mínimo impacto en el medio ambiente, salud del agricultor y consumidor (Cruz-Cerino *et al.*, 2020; Kim y Lee, 2022). Un gran reto para lograr la reproducibilidad en el uso de los extractos de plantas es su estandarización, ya que la obtención de extractos bioactivos a través de material silvestre afecta distintos planos. Dentro de estos, la variación de metabolitos secundarios en el extracto y el atender contra las normas de conservación de especies silvestres.

Regularmente, los términos “extracto natural” y “aceite esencial” se confunde debido a que ambos son obtenidos por las plantas. Sin embargo, difieren del método de obtención y composición química. Los extractos naturales se obtienen mediante una extracción con solventes y los aceites esenciales se obtienen principalmente por destilación por arrastre de vapor. Por otro lado, la composición difiere ya que en los extractos contienen un amplio

espectro de compuestos químicos mientras que los aceites en su mayoría están constituidos por terpenos y compuestos volátiles.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La producción de frutos de chile (*Capsicum* spp.) enfrenta importantes desafíos debido a la aparición de enfermedades crónicas y emergentes. Ante esta situación, su control se basa mediante el uso de plaguicidas e insecticidas. Sin embargo, el uso indiscriminado de agroquímicos sintéticos ocasiona resistencia en microorganismos, las plantas son susceptibles a patógenos y generan problemas ambientales y de salud humana.

Las investigaciones recopiladas en esta revisión han demostrado que los microorganismos antagonistas y extractos de plantas representan una alternativa agroecológica viable para inhibir el crecimiento de fitopatógenos (hongos y bacterias) presentes en chile sin causar efectos negativos en el ambiente. Estas estrategias agroecológicas ofrecen al productor beneficios a mediano y largo plazo, aunque aún se requieren mayores esfuerzos en el control de enfermedades virales. Potenciar el efecto antagonista contra fitopatógenos y el uso de productos derivados de plantas representa un reto, especialmente en lo referente a la estandarización de procesos y la producción controlada bajo esquemas sostenibles.

En este sentido, el futuro del manejo fitosanitario en *Capsicum* dependerá de la capacidad para superar limitaciones actuales como la variabilidad en la eficacia de los compuestos, la estabilidad de sus principios activos y el desempeño de los antagonistas en condiciones de campo. La innovación en formulaciones, el diseño de consorcios microbianos y la integración de tecnologías emergentes como herramientas ómicas y biotecnología aplicada abren nuevas oportunidades para optimizar estas alternativas.

Asimismo, la transición hacia sistemas de cultivos más sostenibles no depende únicamente de la investigación científica, sino también de los incentivos económicos y programas de capacitación que acerquen estas prácticas a los productores. Solo mediante la articulación de ciencia, tecnología y compromiso social será posible avanzar hacia un modelo de producción de chile más competitivo, inocuo y respetuoso con el medio ambiente. El reto y la oportunidad de la agricultura moderna es avanzar hacia un manejo fitosanitario sostenible que asegure productividad y resiliencia, sin comprometer la salud ni los recursos naturales.

Limitaciones

Esta revisión esta sostenida en la bibliografía contenida en la sección respectiva, por lo que los puntos de vista expresados competen únicamente a los autores del trabajo.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflicto de interés.

Financiamiento

No se obtuvo financiamiento para la elaboración de este manuscrito

Agradecimientos

W.A.C.P., M.F.H. y C.A.R.D agradecen el apoyo otorgado a través de las becas No. 837886, No. 823236 y CVU. 1317013 otorgadas por CONAHCYT-México.

Contribución de los autores

W.A.C.P. Concepción del estudio, Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **M.F.H** Concepción del estudio, Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **C.A.R. D** Análisis/interpretación de datos, Preparación del manuscrito, Edición y revisión del manuscrito. **N.V.R** Concepción del estudio, Análisis/interpretación de datos, Edición y revisión del manuscrito, Aprobación de la versión final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Abdelhamid AG and El-DougDoug NK. 2020. Controlling foodborne pathogens with natural antimicrobials by biological control and antivirulence strategies Heliyon 6: e05020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05020>
- Ali A, Bordih PK, Singh A, Siddiqui Y and Droby S. 2016. Post-harvest development of anthracnose in pepper (*Capsicum* spp): Etiology and management strategies. Crop Protection 90: 132-141. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.026>.
- Ali A, Noh NM and Mustafa MA. 2015. Antimicrobial activity of chitosan enriched with lemongrass oil against anthracnose of bell pepper. Food Packaging and Shelf Life 3: 56-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.10.003>
- Anjum N, Shahid AA, Ifikhar S, Mubeen M, Ahmad MH, et al. 2020. Evaluations of *Trichoderma* isolates for biological control of *Fusarium* wilt of chili. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology 21: 42-57. <https://ikpress.org/index.php/PCBMB/article/view/5626>
- Arora H, Sharma A, Sharma S. 2023. Thyme essential oil fostering the efficacy of aqueous extract of licorice against fungal phytopathogens of *Capsicum annuum* L. Journal of Bioscience and Bioengineering 135: 466-473. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2023.03.003>
- Arora H, Naaz F, Sharma A, Dubey S, Sharma S, et al. 2024. Thyme-licorice nanoemulsion for anthracnose management in *Capsicum annuum* L. and life cycle assessment of its production. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 56: 103029. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103029>
- Banya M, Garg S, Meena NL. 2020. A review: Chili anthracnose, its spread and management. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 9: 1432-1438.
- Bayer. (s. f.). Pepper Mottle. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.vegetables.bayer.com/es/es-es/recursos/disease-guides/pimientos/pepper-mottle-2.html>
- Canseco VA. 2023. Pimiento: Condiciones que pueden favorecer la pudrición del fruto por *Alternaria*. Agrisolución. <https://www.agrisolucion.com/articulos/post/pimiento-condiciones-que-pueden-favorecer-la-pudri>
- CABI. 2024. Tomato bushy stunt virus. In Crop Protection Compendium. CAB International. Recuperado de <https://www.cabi.org/cpc>
- Cambiagro. 2021. Enfermedades del chile pimiento: Síntomas y su control. Cambiagro Blog. <https://blog.cambiagro.com/chile-pimiento/enfermedades-del-chile-pimiento/enfermedades-del-chile-pimiento>
- Chowdhury SK, Majumdar S, Mandal V. 2020. Application of *Bacillus* sp. LBF-01 in *Capsicum annuum* plant reduces the fungicide use against *Fusarium oxysporum*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 27: 101714. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101714>
- Chacón C, Bojórquez-Quintal E, Caamal-Chan G, Ruíz-Valdiviezo VM, Montes- Molina JA, et al. 2021. *In vitro* antifungal activity and chemical composition of *Piper auritum* Kunth essential oil against *Fusarium oxysporum* and *Fusarium equiseti*. Agronomy 11: 1098. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061098>
- Conesa, C. 2020. Cómo mantener a raya el patógeno vegetal *Ralstonia solanacearum*. Tecnología Hortícola. <https://www.tecnologiahorticola.com/patogeno-vegetal-ralstonia-solanacearum/>
- Coyotl-Pérez WA, Ángeles-López YI, Luna-Suárez S, Rosas-Cárdenas FF, Villa-Ruano N. 2024. Volatilomics of *Capsicum pubescens* plants infested by *Solenopsis geminata*: Unraveling the role of oleic and palmitic acids in plant-fire ant interaction. Chemistry and Biodiversity, e202402380. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202402380>
- Cruz-Cerino P, Cristóbal-Alejo J, Ruiz-Carrera V, Carnevali G, Vera-Ku M, et al. 2020. Extracts from six native plants of the Yucatán Peninsula hinder mycelial growth of *Fusarium equiseti* and *F. oxysporum*, Pathogens of *Capsicum chinense*. Pathogens 9: 827. <https://doi.org/10.3390/pathogens9100827>
- Dirección General de Sanidad Vegetal - Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (DGSV-CNRF). 2013. PROTOCOLO DE DIAGNÓSTICO DE *Ralstonia solanacearum* (Smith,1896) Yabuuchi et al 1995 Marchitez bacteriana de la papa. Estandarizado en proceso de revisión. SAGARPA -SENASICA
- Esyanti RR, Farah N, Faiz MF, Verdiani MG, Ramadhani S. 2020. The effect of synthetic fungicide on disease severity and plant growth of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) infected with *Phytophthora capsici*. Malaysian Applied Biology 49(2):7-12. Recuperado de <https://journalarticle.ukm.my/16018/>
- Fasio JAC, Bautista LS, Estrada RSG, Molar RA, Zequera IM. 2001. Razas de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Doi) Dye. presentes en el Estado de Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 19: 248-250.
- Gond SK, Bergen MS, Torres MS, White JF. 2015. Endophytic *Bacillus* spp. produce antifungal lipopeptides and induce host defense gene expression in maize. Microbiological Research 172: 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2014.11.004>

- González-Franco AC, Gill-Langarica EM, Robles-Hernández L, Núñez-Barrios A, Pérez-Leal R, *et al.* 2014. Detección de virus que afectan al cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 32: 38-51.
- Hyltdgaard M, Mygind T, Meyer RL. 2012. Aceites esenciales en la conservación de alimentos: modo de acción, sinergias e interacciones con los componentes de la matriz alimentaria. *Fronteras en microbiología* 3: 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
- Jayapala N, Mallikarjunaiah N, Puttaswamy H, Gavirangapa H, Ramachandrappa NS. 2019. Rhizobacteria *Bacillus* spp. induce resistance against anthracnose disease in chili (*Capsicum annuum* L.) through activating host defense response. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29: 45. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0148-2>
- Kadoglidou K, Lagopodi A, Karamanoli K, Vokou D, Bardas GA, *et al.* 2011. Inhibitory and stimulatory effects of essential oils and individual monoterpenoids on growth and sporulation of four soil-borne fungal isolates of *Aspergillus terreus*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium expansum*, and *Verticillium dahliae*. *European Journal Plant Pathology* 130: 297-309. <https://dx.doi.org/10.1007/s10658-011-9754-x>
- Khatun R, Rahman MM, Rahman MM. 2023. Microbial biocontrol agents against chilli plant pathogens over synthetic pesticides: a review. Recuperado https://www.researchgate.net/publication/355153140_Microbial_biocontrol_agents_against_chilli_plant_pathogens_over_synthetic_pesticides_a_review
- Kunstmann J, Ciampi L, Böhm L, Barrera S, Collado L. 2006. Determinación de especies de *Erwinia* (grupo carotovora) como agentes causales de pudrición blanda en Cala (*Zantedeschia* spp.). *Agricultura Técnica* 66: 247-255. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000300003>
- Kim JY, Lee SY. 2022. Application of food-grade natural antimicrobials for the control of crop disease caused by phytopathogens. *Food Science and Biotechnology* 3: 275-284. <https://dx.doi.org/10.1007/s10068-022-01030-1>
- Klosterman SJ, Atallah ZK, Vallad GE, Subbarao KV. 2009. Diversity, pathogenicity, and management of *Verticillium* species. *Annual Review of Phytopathology* 47: 39-62. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081748>
- Kulkarni YA, Suryavanshi SV, Auti ST, Gaikwad AB. 2017. *Capsicum*: a natural pain modulator. In *Nutritional Modulators of Pain in the Aging Population* 107-119. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805186-3.00009-6>
- Landa CMG. 2012. Virus fitopatógenos de *Capsicum* spp. en la zona central del estado de Veracruz. Trabajo de experiencia recepcional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. 43 p
- Liotti RG, da Silva-Figueiredo MI, Soares MA. 2019. *Streptomyces griseocarneus* R132 controls phytopathogens and promotes growth of pepper (*Capsicum annuum*). *Biological Control* 138: 104065. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104065>
- López-Pérez L, Sáenz A. 2018. Bacterias fitopatógenas asociadas a hortalizas en México. INIFAP – Centro de Investigación Regional Norte Centro.
- López-Vielma C, Solís-Sánchez A, Quiñones-Aguilar E, Qui-Zapata J, Rincón-Enríquez G. 2016. Aislamiento del agente causal de la mancha bacteriana de chile en las regiones productoras de Jalisco, Zacatecas y Michoacán. *Revista Biotecnología y Sustentabilidad* 1: 143-146.
- Mejía-Bautista MA, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM, Reyes-Ramírez A. 2016. *In vitro* activity of *Bacillus* spp. on mycelial growth inhibition of *Fusarium equiseti* and *Fusarium solani* isolated from habanero peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 50: 1123-1135.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - Odepa. (2024, 29 febrero). *Boletines - ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*. ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines?paged=4&mes=0&anio=seleccione+anio&swpquery=producci%C3%B3n+de+chile>
- Oyetunji OJ, Salami AO. 2011. Study on the control of *Fusarium* wilt in the stems of mycorrhizal and trichoderma inoculated pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Applied Biosciences* 45: 3071-3080.
- Pandey AK, Kumar P, Singh P, Tripathi NN, Bajpai VK. 2017. Essential oils: sources of antimicrobials and food preservatives. *Frontiers in Microbiology* 7: 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02161>.
- Passari AK, Lalsiamthari PC, Leo VV, Mishra VK, Yadav MK, Gupta VK, Singh BP. 2018. Biocontrol of *Fusarium* wilt of *Capsicum annuum* by rhizospheric bacteria isolated from turmeric endowed with plant growth promotion and disease suppression potential. *European Journal Plant Pathology* 150: 831-846. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1325-3>
- Pérez-Castañeda LM, Castañón-Nájera G, Ramírez-Meraz M, Mayek-Pérez N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 117-128.
- Pérez-Acevedo CE, Carrillo-Rodríguez JC, Chávez-Servia JL, Perales-Segovia C, Enríquez del Valle R, *et al.* 2017. Diagnóstico de síntomas y patógenos asociados con marchitez del chile en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:281-293. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.50>
- Pérez-Vázquez MAK, Pacheco-Hernández Y, Lozoya-Gloria E, Mosso-González C, Ramírez-García SA, *et al.* 2022. Peppermint essential oil and its major volatiles as protective agents against soft rot caused by *Fusarium sambucinum* in cera pepper (*Capsicum pubescens*). *Chemistry and Biodiversity* 19: e202100835. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100835>
- Quispe-Quispe E, Moreira-Morrillo AA, Garcés-Fiallos FR. 2022. Una revisión sobre biocontroladores de *Phytophthora capsici* y su impacto en plantas de *Capsicum*: Una perspectiva desde el exterior al interior de la planta. *Scientia Agropecuaria* 13: 275-289. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.025>
- Radzhabov UR, Davranov K. 2010. Metabolites of *Bacillus subtilis* SKB 256, growth inhibitors of phytopathogenic fungi. *Chemistry of Natural Compounds* 46: 160-162. <https://doi.org/10.1007/s10600-010-9556-y>

- Ragab MMM, Ashour AMA, Abdel-Kader MM, El-Mohamady R, Abdel-Aziz A. 2012. *In vitro* evaluation of some fungicides alternatives against *Fusarium oxysporum* the causal of wilt disease of pepper (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Agriculture and Forestry 2: 70-77. <http://dx.doi.org/10.5923/j.ijaf.20120202.11>
- Rashid M, Kabir M, Hossain M, Bhuiyan R, Khan MAI. 2015. Eco-friendly management of chilli anthracnose (*Colletotrichum capsici*). International Journal of Plant Pathology 6: 1-11. <https://doi.org/10.3923/ijpp.2015.1.11>
- Rentería-Canett I, Xoconostle-Cázares B, Ruiz-Medrano R, Rivera-Bustamante R. 2011. Geminivirus mixed infection on pepper plants: Synergistic interaction between PHYVV and PepGMV. Virology Journal 8: 104. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-8-104>
- Romero-Arenas O, Pérez-Vázquez MAK, Rivera A, Pacheco-Hernández Y, Ramirez-Garcia SA, et al. 2022. Volatiles of *Zanthoxylum limoncello* as antifungal agents against the postharvest rot of manzano pepper triggered by *Fusarium temperatum*. Horticulturae 8: 700. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080700>
- Schroeder KL, Okubara PA, Tambong JT, Lévesque CA, Paulitz TC. 2006. Identification and quantification of pathogenic *Pythium* spp. from soils in eastern Washington using real-time polymerase chain reaction. Phytopathology 96: 637-647. <https://doi.org/10.1094/PHTO-96-0637>
- Shafique S, Asif M, Shafique S. 2015. Management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici* by leaf extract of *Eucalyptus citriodora*. Pakistan Journal of Botany 47: 1177-1182.
- Shahid M, Zaidi A, Khan MS, Rizvi A, Saif S, et al. 2017. Recent advances in management strategies of vegetable diseases. Microbial Strategies for Vegetable Production 197-226. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4_9
- Shcherban AB. 2023. Chitosan and its derivatives as promising plant protection tools. Vavilov Journal of Genetics and Breeding 27: 1010. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-116>
- Shisia M. 2017. The world's top chili pepper producing countries. WorldAtlas. <https://www.worldatlas.com/articles/the-world-s-top-chili-pepper-producing-countries.html>
- Segarra G, Avilés M, Casanova E, Borrero C, Trillas I. 2013. Effectiveness of biological control of *Phytophthora capsici* in pepper by *Trichoderma asperellum* strain T34. Phytopathologia Mediterranea 52: 77-83. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-11242
- Sonawane VB, Shinde HP. 2021. Anthracnose disease of *Capsicum annuum* L. and its biocontrol management: A review. Applied Ecology and Environmental Science 9: 172-176. <https://doi.org/10.12691/aees-9-2-8>
- Sundaramoorthy S, Raguchander T, Ragupathi N, Samiyappan R. 2012. Combinatorial effect of endophytic and plant growth promoting rhizobacteria against wilt disease of *Capsicum annuum* L. caused by *Fusarium solani*. Biological Control 60: 59-67. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.10.002>
- Than PP, Jeewon R, Hyde KD, Pongsupasamit S, Mongkolporn O, et al. 2008. Characterization and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose on chilli (*Capsicum* spp) in Thailand. Plant Pathology 57: 562-572. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01782.x>
- Vaishnav A, y Meena A. 2014. *Rhizoctonia solani* as a pathogen of rice and its management strategies. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 1(1), 67-74.
- Valenzuela-Ruiz V, Parra-Cota FI, Santoyo- G, Estrada-Alvarado MI, Cira-Chávez LA, et al. 2024. Potenciales mecanismos de control biológico de *Bacillus paralicheniformis* TRQ65 contra hongos fitopatógenos. Revista Mexicana de Fitopatología 42(4):44. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-18>
- Verma C, Gupta BK, Singh A, Kujur A, Sahu R, et al. 2020. Biological control agents in the management of bell pepper nursery diseases: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 9: 256-259.
- Velásquez-Valle R, Reveles-Torres LR, Chew-Madinaveitia YI, Mauricio-Castillo JA. 2013. Virus y fitoplasmas asociados con el cultivo de chile para secado en el norte centro de México. Folleto Técnico. Núm 49. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 54 páginas.
- Villanueva-Arce R, Aguilar-Pompa CA, Gómez-Gómez YM, Valencia-Toro G, Piña-Guzmán AB, et al. 2013. Control de bacterias patógenas y hongos de postcosecha con extractos del pigmento de *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*). Agrociencia 47: 691-705.
- Wang L, Hu J, Li D, Reymick OO, Tan X, Tao N. 2022. Isolation and control of *Botrytis cinerea* in postharvest green pepper fruit. Scientia Horticulturae 302: 111159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111159>