

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO



Evaluación in vitro de un producto bioracional a base de aceite de clavo (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) para el control de *Fusarium* spp. *Alternaria* spp. y *Xanthomonas* spp.

Por:

DANIELA GUADALUPE AMAYA MORENO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Evaluación in vitro de un producto bioracional a base de aceite de clavo (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) para el control de *Fusarium* spp. *Alternaria* spp. y *Xanthomonas* spp.

Por:

DANIELA GUADALUPE AMAYA MORENO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

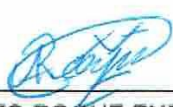
INGENIERO AGRONOMO PARASITOLOGO

Aprobada por el Comité Asesor:

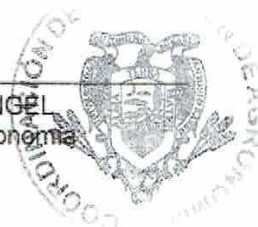

DRA. YISA MARIA OCHOA FUENTES
Asesor Principal


DRA. JAZMIN JANET VELAZQUEZ GUERRERO
Asesor Principal Externo


DR. ERNESTO CERNA CHAVEZ
Coasesor


DR. ALBERTO ROQUE ENRIQUEZ
Coasesor


DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

Daniela Ge. Amaya Moreno.
Daniela Guadalupe Amaya Moreno.

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias **a Dios** por brindarme salud, paciencia, determinación y por ayudarme a mantener la fe para seguir adelante aún en los momentos más difíciles, así como por permitirme coincidir con buenas personas.

A mis padres por su amor incondicional, por creer siempre en mí, por motivarme constantemente con sus palabras, por enseñarme a nunca rendirme y a que el esfuerzo y la dedicación son fundamentales para alcanzar mis metas.

A mi hermano por sus palabras de ánimo, aconsejarme y motivarme a no rendirme ante las dificultades.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formarme profesionalmente, y por ser un espacio donde crecí personalmente y académicamente.

A mi asesora la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes por brindarme la oportunidad de participar en este trabajo de investigación, así como por todas sus sugerencias.

A mi asesora la Dra. Jazmín J. Velázquez Guerrero por su disposición y paciencia así como por el tiempo dedicado en cada etapa de este trabajo de investigación.

A mis profesores, por contribuir a mi preparación profesional mediante sus conocimientos y experiencia académica.

A mi tía Edith Ramírez por brindarme apoyo y un lugar donde vivir durante toda mi formación universitaria.

A mi tío Hugo Moreno por su ayuda y orientación cuando la necesite.

A mis amigos y amigas por todas las anécdotas y aprendizajes compartidos durante la carrera. Les deseo lo mejor en su vida tanto en el aspecto personal como en el profesional.

A mi novio por apoyarme durante esta etapa de mi vida, motivarme a seguir adelante y confiar en mí, por su paciencia, comprensión y cariño.

DEDICATORIAS

A mis padres Ma. del Rosario Moreno Monsiváis y Héctor Rafael Amaya Galaviz

Con todo mi amor y gratitud, por orientarme siempre por el camino correcto, darme su confianza y por ser mi mayor impulso para cumplir esta meta, siendo siempre mi mayor apoyo y un gran ejemplo a seguir.

A mi hermano Héctor Rafael Amaya Moreno

Quien me ha apoyado siempre, es mi amigo y una motivación constante al impulsarme para no rendirme y superarme.

A mis abuelitos y tías

Por su cariño, su sabiduría y por siempre apoyarme y motivarme a ser una mejor persona.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General.....	3
Objetivo Especifico	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Aspectos Generales de Producción Agrícola.....	4
Producción Mundial agrícola	5
Producción Nacional Agrícola.....	6
Importancia económica	7
Principales patógenos en la producción hortícola	7
Bacterias y hongos	8
<i>Fusarium</i> spp.	9
Aspectos morfológicos	9
Clasificación taxonómica	10
Ciclo biológico	10
Sintomatología	11
<i>Alternaria</i> spp.....	12
Aspectos morfológicos	12
Clasificación taxonómica	13

Ciclo biológico	13
Sintomatología	14
<i>Xanthomonas</i> spp.	15
Aspectos morfológicos	15
Clasificación taxonómica	16
Ciclo biológico	16
Sintomatología	17
Estrategias de manejo	18
Químicas	18
Culturales	20
Biológicas	21
Productos biorracionales botánicos	22
Canela	23
Clavo	23
Cítricos	24
MATERIALES Y MÉTODOS	25
Ubicación del Experimento	25
Obtención y reactivación de cepas Fitopatógenas	25
Evaluación de la efectividad biológica	25
Inhibición del crecimiento micelial	27
Conteo de esporas	27
Análisis Estadístico	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
CONCLUSIÓN	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición micelial de <i>Fusarium</i> spp. tratado con diferentes concentraciones de aceite de clavo.....	29
Cuadro 2. Porcentaje de inhibición micelial de <i>Alternaria</i> spp. tratado con diferentes concentraciones de aceite de clavo.....	29
Cuadro 3. Concentración letal media, límites fiduciales y ecuación de predicción del aceite de clavo sobre las cepas de <i>Fusarium</i> spp. y <i>Alternaria</i> spp.....	30
Cuadro 4. Efecto del aceite de clavo sobre la producción de esporas de <i>Fusarium</i> spp.....	30
Cuadro 5. Efecto del aceite de clavo sobre la producción de esporas de <i>Alternaria</i> spp.....	31

RESUMEN

La producción agrícola es para el desarrollo económico y la seguridad alimentaria un pilar fundamental; no obstante, el uso intensivo y en ocasiones, indiscriminado de agroquímicos para el control de enfermedades fitosanitarias puede generar graves efectos en la salud humana y en los ecosistemas. A pesar que, estos fitopatógenos se han controlado con el uso de agroquímicos, la aplicación recurrente de los mismos ingredientes activos favorece la resistencia, disminuyendo la eficacia de los tratamientos y encareciendo el manejo de los cultivos. Con lo cual, los productos biorracionales a base de compuestos naturales, como aceites esenciales y extractos vegetales, han generado interés como alternativas sostenibles para el control de enfermedades fitopatógenas.

Con el fin de evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* del aceite esencial de clavo (*Syzygium aromaticum*) sobre fitopatógenos, se realizaron bioensayos utilizando cepas de *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp., donde se evaluaron concentraciones de 2000, 4000 y 6000 ppm, además de un testigo químico y absoluto, con cuatro repeticiones para cada tratamiento. Así mismo, se evaluó el efecto bacteriano sobre *Xanthomonas* sp. mediante la técnica de difusión en discos, utilizando las concentraciones 1000, 2000, 4000 y 6000 ppm. y sus respectivos testigos con cuatro repeticiones por tratamiento. El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial se utilizó para efectuar un análisis estadístico de varianza y comparación de medias mediante Tukey al 5 % de significancia, con la finalidad de obtener valores de CI_{50} y CI_{95} . El aceite esencial de clavo presentó en el control *in vitro* de los hongos evaluados resultados favorables, especialmente a mayores concentraciones; sin embargo, no mostró efectividad para inhibir el crecimiento de *Xanthomonas* sp. Por ello, su uso podría considerarse principalmente como una alternativa para el manejo de enfermedades de origen fúngico.

Palabras clave: biorracionales, fitopatógenos, *in vitro*, aceite esencial.

ABSTRACT

Agricultural production is a fundamental pillar for economic development and food security; however, the intensive and sometimes indiscriminate use of agrochemicals to control plant diseases can have serious effects on human health and ecosystems. Although these phytopathogens have been controlled with agrochemicals, the recurrent application of the same active ingredients promotes resistance, reducing the effectiveness of treatments and increasing the cost of crop management. Therefore, biorational products based on natural compounds, such as essential oils and plant extracts, have generated interest as sustainable alternatives for controlling plant diseases.

To evaluate the *in vitro* inhibitory effect of clove essential oil (*Syzygium aromaticum*) on phytopathogens, bioassays were conducted using strains of *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp., where concentrations of 2000, 4000, and 6000 ppm were evaluated, in addition to a chemical and an absolute control, with four replicates for each treatment. Likewise, the bacterial effect on *Xanthomonas* sp. was evaluated using the disk diffusion technique, with concentrations of 1000, 2000, 4000, and 6000 ppm and their respective controls, with four replicates per treatment. The percentage of mycelial growth inhibition was used to perform a statistical analysis of variance and comparison of means using Tukey's test at a 5% significance level, in order to obtain CI50 and CI95 values. Clove essential oil showed favorable results in the *in vitro* control of the evaluated fungi, especially at higher concentrations; however, it did not show effectiveness in inhibiting the growth of *Xanthomonas* sp. Therefore, its use could be considered primarily as an alternative for the management of fungal diseases.

Keywords: biorrationals, phytopathogens, *in vitro*, essential oil.

INTRODUCCIÓN

La combinación de territorio, infraestructura, recursos naturales y fuerza laboral ha permitido consolidar una producción pesquera y agropecuaria nacional que posiciona a México como el décimo productor mundial de cultivos agrícolas (SIAP, 2024a).

México cuenta con una superficie territorial de 1 millón 964 mil 375 km² y con 3 millones 149 mil 920 km² de mares; por su extensión, ocupa el lugar 13 entre las naciones más grandes del mundo. Para 2024a, la Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportó que el sector pesquero y agropecuario generó 289 millones de toneladas, con un valor económico de 1 billón 591 mil millones de pesos.

En el ámbito agroalimentario, México se ubicó en 2024 en el lugar 14 entre los principales exportadores mundiales. Entre los productos agroalimentarios con mayor presencia en el comercio exterior destacan el aguacate, las berries y el jitomate, mientras que Estados Unidos se mantiene como el principal destino de exportación (SIAP, 2024b).

La producción en el ámbito agrícola requiere de manera constante insumos como herbicidas, fertilizantes, maquinaria y plaguicidas (SADER, 2018). Asimismo, se ve favorecida por la diversidad de climas y tipos de suelo, por el uso de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, por el manejo de enfermedades y plagas mediante distintos productos químicos. No obstante, estas prácticas deben orientarse a reducir efectos negativos sobre el ambiente, como la erosión, el cambio climático y la pérdida de fertilidad del suelo (Bejarano-Rivera *et al.*, 2021).

Desde finales de la década de 1990, la biotecnología y mejoras genéticas de los cultivos han favorecido el desarrollo de materiales con mayor resistencia a enfermedades y plagas. De igual forma, los avances en sanidad y manejo pecuario han contribuido al bienestar del ganado y de las especies acuícolas. A ello se suman la automatización y mecanización de las unidades productivas, así como el uso de

fertilizantes de origen sintético, agroquímicos, alimentos balanceados y maquinaria, factores que han hecho posible incrementar la producción (USDA, 2024).

El uso de agroquímicos, como insecticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes, contribuye al incremento de la producción forestal y agrícola; sin embargo, su aplicación intensiva ha favorecido la aparición de resistencia en algunas enfermedades, plagas y malezas, y contribuido a la reducción de la diversidad genética de los cultivos. El empleo excesivo de plaguicidas representa un riesgo importante tanto para el bienestar humano como para el medio ambiente, ya que puede ocasionar daños a la salud y generar efectos ambientales adversos (Jáquez-Matas *et al.*, 2022).

La presencia de hongos de importancia fitopatológica pertenecientes a géneros como *Fusarium* y *Alternaria* en los cultivos suele provocar enfermedades en las plantas. Para colonizar a su hospedero, estos organismos han desarrollado diversos mecanismos de interacción; algunos actúan como necrótrofos, al causar la muerte del tejido vegetal para nutrirse de él, mientras que otros, denominados biótros, se establecen en tejidos vivos y dependen de ellos para su alimentación (Doehlemann *et al.*, 2017).

De igual manera, la incidencia de patógenos bacterianos representa un problema significativo para el sector agrícola, ya que puede generar daños económicos considerables. Varias de estas especies bacterianas se encuentran distribuidas a nivel mundial y resultan difíciles de manejar debido a la falta de agroquímicos efectivos para su control (Hernández, 2023). Entre ellas, las bacterias del género *Xanthomonas* destacan por ser agentes causales de enfermedades severas en plantas de importancia comercial y agrícola, al afectar cultivos de relevancia económica como el algodón y el arroz, hortalizas como el pimiento y el tomate, así como frutales de hueso, plantas ornamentales y cítricos. Incluso, variantes de una especie pueden colonizar distintos hospederos (Cubero *et al.*, 2015).

En las últimas décadas, los productos de origen natural han adquirido mayor aceptación y han comenzado a sustituir a los elaborados de manera artificial o sintética, lo que ha incrementado el interés por el uso de extractos vegetales y

aceites esenciales. A partir de ello, los productos biorracionales han surgido como una alternativa al empleo de agroquímicos sintéticos para el control de plagas agrícolas, ya que son sustancias provenientes de minerales, microorganismos o plantas que se degradan con rapidez y actúan de forma específica a controlar sobre el organismo (Landerro-Valenzuela *et al.*, 2016).

Objetivo General

- Evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*), sobre el desarrollo de fitopatógenos (*Fusarium* sp., *Alternaria* sp. y *Xanthomonas* sp.).

Objetivo Especifico

- Determinar la concentración letal media (CL₅₀) inhibitoria del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) sobre *Fusarium* sp.
- Determinar la concentración letal media (CL₅₀) inhibitoria del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) contra *Alternaria* sp.
- Determinar la concentración letal media (CL₅₀) inhibitoria del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) contra *Xanthomonas* sp.

Hipótesis

- Al menos una de las concentraciones del aceite esencial de clavo (*Syzygium aromaticum*) inhibirá el crecimiento de alguno de los fitopatógenos (*Fusarium* sp., *Alternaria* sp. y *Xanthomonas* sp.).

REVISIÓN DE LITERATURA

Aspectos Generales de Producción Agrícola

La actividad agrícola tiene una importancia fundamental en la alimentación, ya que constituye una de las principales fuentes de sustento para gran parte de la población. En este sentido, incrementar la producción resulta esencial para combatir el hambre y favorecer el desarrollo económico y social, además de generar ingresos mediante la comercialización de productos en los mercados internacional y nacional (SADER, 2024).

Las hortalizas y frutas están constituidas por estructuras celulares vegetales, por lo que se consideran organismos que mantienen funciones vitales aun después de la cosecha. Durante este periodo continúan realizando procesos fisiológicos, como la transpiración y la respiración; por ello, es fundamental comprender su comportamiento para definir el momento adecuado de cosecha, el manejo que debe aplicarse y las prácticas posteriores necesarias para preservar su calidad y prolongar su vida útil hasta su consumo (Muñoz, 2020).

Las prácticas de conservación y el manejo especializado aseguran condiciones adecuadas para que los productos agrícolas mantengan su vida útil y calidad hasta llegar al consumidor. Las materias primas deben provenir de zonas de cultivo libres de niveles críticos de contaminación en el suelo, el agua o el aire. Así mismo, se requieren controles rigurosos sobre el uso de insumos químicos, como fertilizantes y plaguicidas, a fin de garantizar un desarrollo adecuado de los cultivos. De la misma manera, el agua de riego debe estar libre de agentes físicos, químicos o biológicos que puedan resultar perjudiciales para el bienestar humano al ser integrados a los alimentos (Villarino-Fernández, 2025).

La producción en el ámbito agrícola, en respuesta a múltiples transformaciones ambientales, culturales y sociales, requiere procesos de adaptación de los cultivos según las características de cada región agrícola. Esto implica una reorganización de los productos, los procedimientos, el mercado y la tecnología empleada en el proceso productivo (Caicedo-Aldaz *et al.*, 2020).

La producción agrícola enfrenta pérdidas a lo largo de toda la secuencia de producción, desde la etapa de cultivo hasta la distribución comercial. Así mismo, la capacitación del personal encargado del manejo del cultivo impacta significativamente en los niveles de producción; por ello, resulta primordial aplicar prácticas agrícolas adecuadas desde el establecimiento del cultivo, en combinación con control poscosecha y operaciones específicas que prolonguen la vida útil y aseguren la calidad de los productos agrícolas (Muñoz, 2020).

Producción Mundial agrícola

En el periodo 1961 - 2020, la producción agrícola global se incrementó de manera significativa, al crecer casi cuatro veces. Este incremento fue más pronunciado en países del hemisferio sur, mientras que en los países del hemisferio norte la producción se ha prolongado relativamente estable desde 1990. Con lo cual, el incremento de la eficiencia productiva del sector agrícola se ha consolidado como el principal factor que explica el crecimiento de la producción mundial (USDA, 2024).

Durante el periodo 2011-2020, la producción en el ámbito agrícola registró un crecimiento promedio anual de 1.93 %, inferior al 2.72 % observado de 2001 a 2010. Esta disminución se debe a una menor expansión de la eficiencia productiva total, particularmente en lo relacionado con las mejoras tecnológicas y las prácticas agrícolas (USDA, 2024).

En 2024, Asia concentró una parte importante de la producción mundial de alimentos. China destacó en producción de hortalizas y frutas, al aportar el 55 % de los guisantes, el 39 % de los chiles y pimientos, el 33 % de los tomates, el 22 % de las cebollas, el 52 % de las manzanas, el 29 % de las naranjas y el 22 % de las uvas. Por su parte, India produjo el 55 % de la okra, el 45 % del mango y el 20 % del plátano. En cuanto al maíz, América lideró la producción mundial, con Brasil, Argentina y Estados Unidos, que en conjunto aportaron el 45 % del total global. En la producción de arroz, China contribuyó con el 26 % e India con el 27 %; en la producción de frijol, India fue el principal productor con el 28 %, seguida de Brasil con el 10 % y Estados Unidos con el 5 % (FAO, 2025).

La Secretaría de Economía (2017) señala que la posición geográfica de México favorece su acceso a distintos mercados internacionales, lo que lo convierte en un país con alta capacidad productiva y exportadora.

América Latina concentra gran parte de la producción mundial de aguacate, y entre sus principales países productores destacan México, Perú, República Dominicana y Colombia. Al respecto, México ocupa el décimo lugar mundial en producción de cultivos agrícolas y se posiciona como el principal productor de aguacate, al aportar el 28 % del volumen global y concentrar el 26.1 % de la superficie cosechada a nivel mundial. Además, sus exportaciones se dirigen principalmente a Estados Unidos, Canadá, Japón, El Salvador y Honduras (SIAP, 2024c).

Producción Nacional Agrícola

En México, la agricultura supera a las actividades pesqueras, pecuarias y acuícolas, por lo que constituye la principal actividad del ámbito agropecuario, y se mantiene activa durante el año gracias a la diversidad de cultivos (SADER, 2018).

Según la Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2024 los estados con mayor producción agrícola fueron Veracruz, que ocupó el primer lugar con 1,510,394.80 ha; Jalisco, en segundo lugar, con 1,472,600.18 ha; Oaxaca, en tercer lugar, con 1,328,154.60 ha; Chiapas, en cuarto lugar, con 1,323,673.09 ha; y Tamaulipas, en quinto lugar, con 1,200,507.25 ha.

La producción de aguacate posiciona a México como el principal productor mundial de este fruto, con 2,761,328 toneladas en 2024, de las cuales Michoacán aportó el 73 % de la producción nacional. Así mismo, el país ocupa el primer lugar en la producción mundial de zarzamora, con 270,833 toneladas. En este cultivo, Michoacán, Jalisco, Baja California, Sinaloa y Colima concentran las mayores cosechas del país y en conjunto generan el 99.7 % de la oferta nacional (SIAP, 2024d).

Importancia económica

El sector agrícola contribuye de manera significativa al Producto Interno Bruto de numerosos países y constituye una fuente importante de empleo. Además, el comercio exterior favorece la expansión de la producción agrícola y el acceso a nuevos mercados, lo que beneficia tanto a las comunidades rurales como a la economía en general (Espinoza-Vaca *et al.*, 2025).

El PIB primario es un indicador del valor de la producción generada por las actividades agrícolas, ganaderas, pesqueras y forestales. De acuerdo con el SIAP (2025e), este sector registró una disminución anual de 4.1 %, donde la agricultura resultó la actividad más afectada, con una reducción de 6.62 %. Entre las principales causas de esta caída se encuentran las sequías, que afectaron hasta el 42 % del rendimiento agrícola, y los niveles bajos de agua en las presas. Como consecuencia, se redujo la superficie sembrada y se generaron problemas de riego en diversas regiones agrícolas; esta disminución provocó una menor demanda de servicios agrícolas, lo que repercutió negativamente en el sector primario.

Principales patógenos en la producción hortícola

Los residuos de cultivo y las coberturas vegetales que permanecen en el suelo pueden actuar como medios de supervivencia para patógenos causantes de enfermedades en las plantas. Estas enfermedades reducen el rendimiento de los cultivos y afectan la calidad de los productos, así como la disponibilidad de materias primas y alimentos, lo que genera impactos negativos en el ámbito agrícola (SIAP, 2016f).

Las especies que con mayor frecuencia causan estas enfermedades en las plantas son nematodos, hongos, virus y bacterias. Estos alteran la fisiología vegetal y provocan síntomas como manchas, pérdida de hojas y marchitez; por otra parte, la presencia del patógeno puede reconocerse mediante signos como rizomorfos, esclerocios o exudados (Velásquez-Valle *et al.*, 2017).

Diversos patógenos, entre ellos bacterias y hongos, interfieren con procesos fisiológicos esenciales de las plantas, como la absorción de nutrientes minerales y de agua a través de las raíces. Entre los ejemplos más importantes se encuentran el género *Phytophthora* y *Fusarium*, que pueden causar necrosis radiculares. De igual manera, la incidencia de bacterias fitopatógenas en los cultivos disminuye considerablemente la productividad agrícola y genera relevantes pérdidas en la economía (Navarro-León *et al.*, 2025).

Bacterias y hongos

- **Marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum*:** se considera uno de los fitopatógenos bacterianos más perjudiciales para diversos cultivos de relevancia agrícola, debido a que reduce a nivel mundial tanto el rendimiento como la calidad de la producción. Esta bacteria ingresa a la planta a través de pequeñas heridas y ocasiona síntomas como amarillamiento, marchitez y oscurecimiento vascular en raíces y tallos (Wang *et al.*, 2023).
- ***Pseudomonas syringae*:** es una bacteria que infecta a nivel mundial una amplia variedad de plantas. Al ingresar al interior de la planta y expandirse, ocasiona manchas necróticas en las nervaduras, daños en los frutos, muerte de brotes y formación de chancros (Córdova *et al.*, 2023).
- **Tizón tardío *Phytophthora infestans*:** es un oomiceto que causa graves pérdidas en los cultivos de tomate y papa a nivel mundial. Su desarrollo óptimo ocurre en condiciones de alta humedad y bajas temperaturas, en las que se propaga con rapidez en los tejidos de la planta y ocasiona lesiones, marchitez y, en casos severos, la pérdida del cultivo en pocos días (Wang *et al.*, 2025).
- **Antracnosis *Colletotrichum spp.*:** género de fitopatógenos de gran relevancia en diversos cultivos globalmente, caracterizado por su gran diversidad y su capacidad para infectar una gran variedad de plantas. Puede mantenerse en estado latente y manifestarse después de la cosecha en ambientes con alta temperatura y humedad, ocasionando manchas oscuras, lesiones hundidas en los frutos y pudrición (De Silva *et al.*, 2017).

***Fusarium* spp.**

Con más de 1500 especies descritas, el género *Fusarium* se considera un patógeno de gran importancia. Su estudio ha aumentado considerablemente debido a la diversidad que presenta y al impacto que genera en el bienestar humano y la agricultura (Solórzano-Solórzano *et al.*, 2024).

El género *Fusarium* representa un problema importante para la agricultura debido a su alto impacto económico. Estos hongos producen toxinas fúngicas que contaminan los granos, ocasionan pérdidas en la producción y representan un riesgo para la salud, ya que la ingestión de estos compuestos tóxicos, tanto en animales como en humanos, puede provocar desde trastornos leves hasta enfermedades graves e incluso la muerte (Ekwomadu & Mwanza, 2023). Entre las principales toxinas fúngicas producidas por *Fusarium* se encuentran la zearalenona, los tricotecenos y las fumonisinas, las cuales presentan alta estabilidad térmica y no se eliminan mediante la cocción; por ello, es importante prevenir su producción en campo (Perincherry *et al.*, 2019).

Aspectos morfológicos

Desde el punto de vista microscópico, las especies de *Fusarium* se caracterizan por presentar diversas estructuras, entre las que destacan hifas hialinas tabicadas, macroconidios septados, comúnmente con forma de medialuna o canoa, mesoconidios más pequeños pero semejantes a los macroconidios, microconidios de forma ovalada o alargada, fiálides responsables de la formación de conidios y clamidosporas lisas o rugosas. Estas últimas son estructuras de resistencia con pared doble y gruesa, que pueden disponerse de manera individual, en pares o en grupos (Rodríguez-Grimaldo *et al.*, 2022).

La identificación entre especies puede realizarse mediante cultivos micóticos, a partir de la evaluación de estructuras microscópicas como clamidosporas, conidiogénesis, microconidios y macroconidios, así como el aspecto macroscópico de la colonia, en particular su color y apariencia. También pueden emplearse

técnicas como la PCR, que permiten obtener un diagnóstico directamente a partir del tejido. En medios como agar Sabouraud y PDA es posible analizar el diámetro de crecimiento de la colonia, su forma y pigmentos que desarrolla, los cuales pueden variar entre café, violeta, rojo, naranja, blanco y gris (García & Aznar, 2013). Asimismo, las colonias pueden presentar superficies de apariencia algodonosa o aterciopelada, y su crecimiento en distintos sustratos, junto con la eficiente dispersión de sus esporas, facilita su propagación (Ajmal *et al.*, 2023).

Este género comprende numerosos patógenos de plantas de gran relevancia en la agricultura, los cuales provocan tizones, marchitez y pudriciones en diversos cultivos. Al igual que otros fitopatógenos, *Fusarium* emplea distintos mecanismos de infección, y su preferencia por el hospedero depende de la especie involucrada (Villa-Martínez *et al.*, 2015).

Clasificación taxonómica

Como lo indica la Organización Europea y Mediterránea para la Protección vegetal (EPPO, 2020) la taxonomía de *Fusarium* spp. es:

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium* spp.

Ciclo biológico

Fusarium spp. tiene la capacidad de persistir en el suelo en forma de esporas o micelio, aun en ausencia de su hospedero. Cuando encuentra una planta susceptible, la infección puede iniciar en estructuras aéreas o raíces, por contacto con el suelo, el aire o el agua. Para que este proceso ocurra, el hongo activa genes

que le permiten reconocer al hospedero, adherirse a él, romper sus defensas estructurales, resistir sustancias antifúngicas y, finalmente, destruir las células vegetales mediante la producción de toxinas (Villa-Martínez *et al.*, 2015).

Presenta ciclos reproductivos tanto sexuales como asexuales, en estas fases se desarrollan estructuras miceliales de tipo haploide; en algunos casos, se generan esporas sexuales de origen meiótico, como las ascosporas, además de tres tipos de esporas asexuales producidas por mitosis: macroconidios, clamidosporas y microconidios; estas estructuras pueden formarse en esporodoquios, conidióforos o directamente sobre las hifas. Las esporas producidas en ambas fases pueden dispersarse por el viento, lo que favorece la infección de la planta y la producción de toxinas fúngicas (Shabeer *et al.*, 2021).

Cuando una planta sana crece en un suelo infectado, el hongo entra en contacto con las raíces, germina y penetra a través del ápice, de heridas o de zonas de raíces laterales; el micelio avanza por el córtex hasta alcanzar el xilema, desde donde se disemina hacia la parte aérea de la planta. En los vasos produce microconidios que son transportados por la savia y continúan el proceso de colonización. La acumulación de micelio, esporas y otras sustancias obstruye los vasos, provocando marchitez. Finalmente, el hongo invade toda la planta, emerge en su superficie y produce esporas que se dispersan por el agua o el viento, infectando nuevas plantas (Vásquez-Ramírez & Castaño-Zapata, 2017).

Sintomatología

Los mecanismos de infección de *Fusarium* provocan diversos daños en los hospedantes, que se manifiestan como pudriciones en tallos, raíces y frutos, marchitez, así como tizones en flores y pudrición de mazorcas (Tovar-Pedraza & García-León, 2025).

El primer signo de *Fusarium* es un marchitamiento leve de la planta, más evidente durante las horas de mayor calor. Aunque en etapas iniciales la planta puede recuperarse en condiciones más frescas, como al atardecer o en días lluviosos, con el tiempo la marchitez se vuelve persistente. Posteriormente aparece

amarillamiento, que puede iniciar en un solo lado de la rama o del brote, acompañado de necrosis en hojas. Los síntomas comienzan en la parte inferior del follaje y progresan hasta afectar toda la planta. Después de algunas semanas, en el tallo se observa oscurecimiento vascular, que se extiende desde la raíz hacia la parte superior. Finalmente, las plantas presentan atrofia y, en condiciones severas, mueren (Gauthier *et al.*, 2022).

***Alternaria* spp.**

Este género puede comportarse como endófito, saprófito o fitopatógeno, y está ampliamente distribuido en ambientes naturales y en aquellos modificados por los humanos. La mayoría de sus especies pueden causar enfermedades en cerca de 400 especies de plantas; entre las más comunes se encuentran la mancha negra y la mancha foliar, las cuales generan una disminución importante en la productividad agrícola y pérdidas considerables en la economía (Yang *et al.*, 2025).

No solo afecta a las plantas, sino que también pueden infectar animales. Se han descrito como hongos con actividad entomopatógena y tienen la capacidad de afectar organismos de sangre caliente, incluido el ser humano. Su relevancia ha aumentado debido al incremento de personas susceptibles a infecciones, y se reconocen como una de las principales fuentes de alérgenos aerotransportados, asociados con problemas respiratorios (Fernández *et al.*, 2023).

Aspectos morfológicos

Alternaria se distingue por producir conidios, generalmente en forma de lágrima u ovalada, con varios septos y de tonalidad oscura. Su reproducción es principalmente asexual, mediante conidios que pueden disponerse de forma aislada o en cadenas, ramificadas o no. Presentan micelio sustratal, ocasionalmente superficial, así como hifas hialinas o de tonalidad marrón u oliva. En ambientes adversos, como baja humedad o temperaturas bajas, algunas especies generan estructuras de resistencia, como clamidosporas y esclerocios (Vinogradova *et al.*, 2026).

Alternaria se caracteriza por crecer con rapidez en distintos medios de cultivo, como agar papa dextrosa, harina de maíz y agar Sabouraud; no obstante, el agar papa-zanahoria es uno de los más recomendados. Después de incubarse a 25 °C durante 7 días, se observan colonias de textura algodonosa y planas, que evolucionan de un color blanco grisáceo a tonos café o verde oliva oscuro, mientras que el reverso adquiere una coloración oscura debido a la presencia de melanina de tipo dihidroxinaftaleno (Rivas & Mühlhauser, 2014).

Clasificación taxonómica

De acuerdo con el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2021) el género *Alternaria* se clasifica de la siguiente forma:

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Dothideomycetes

Orden: Pleosporales

Familia: Pleosporaceae

Género: *Alternaria*

Ciclo biológico

Las especies pertenecientes a este género presentan diversos modos de vida. Principalmente se desarrollan de forma saprofítica en el suelo y sobre materia orgánica en degradación, aunque también pueden actuar como necrótrofos, provocando pérdidas en los cultivos y daños posteriores a la cosecha (Schmey *et al.*, 2024). Se caracterizan por su amplia distribución mundial, gran diversidad de hospedantes y la capacidad que tienen para vivir en el interior de las plantas como endófito sin manifestar síntomas (DeMers, 2022).

Cuando el hongo se propaga a través de semillas, puede colonizar la planta en su estado juvenil después de la germinación. En ocasiones, las esporas producidas principalmente se diseminan por corrientes de aire y se depositan en la superficie vegetal, donde se origina la infección. Los tejidos sometidos a envejecimiento, estrés o lesiones presentan mayor susceptibilidad que aquellos que se encuentran en buen estado fisiológico (Thomma, 2003).

La propagación de la enfermedad en campo inicia a partir de conidios provenientes de inóculo que pueden persistir en ambientes adversos sobre residuos vegetales o en estructuras de resistencia, como las clamidosporas. Cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables, las esporas asexuales germinan, penetran al hospedero por estomas, heridas o de manera directa, y liberan toxinas y enzimas que facilitan la infección; la enfermedad se disemina mediante la producción de conidios en las lesiones y transportados por la lluvia o el viento. Así mismo, las toxinas generadas se concentran en los tejidos y pueden afectar incluso a los frutos (Salotti *et al.*, 2024).

Sintomatología

Las especies de *Alternaria* generan importantes pérdidas en la economía, al ocasionar enfermedades foliares como tizones y manchas en 4,000 especies vegetales. El síntoma característico consiste en la aparición de manchas necróticas con anillos en las hojas de diversos cultivos hortícolas, cereales, ornamentales y frutales (Escalera-Mares *et al.*, 2026).

Inicialmente aparecen pequeñas lesiones de color café en las hojas basales. En ambientes húmedos y durante periodos prolongados de precipitación, la enfermedad se intensifica y se extiende en la planta hacia los niveles superiores de la planta, donde las lesiones muestran una disposición concéntrica característica. En casos severos, puede presentarse defoliación prematura, lo que repercute negativamente en la productividad, sobre todo durante la floración y el desarrollo de vainas (Radchenko & Sokolova, 2018).

El micelio presente en las lesiones necróticas produce conidios capaces de dispersarse e infectar hojas sanas, lo que genera nuevos focos de infección. Estos propágulos no penetran de manera directa ni forman apresorios; su ingreso ocurre a través de heridas o estomas, con afectación de la peridermis y del tubérculo. La incidencia de la infección disminuye notablemente conforme avanza la cicatrización, el engrosamiento suberoso de las células y el desarrollo de la capa de abscisión (Garg *et al.*, 2020).

***Xanthomonas* spp.**

Xanthomonas es un género diverso de bacterias Gram negativas asociadas a organismos vegetales. Su nombre deriva del griego, donde *xanthos* significa amarillo y *monas*, unidad o entidad (An *et al.*, 2019).

Este género incluye una gran variedad de fitopatógenos que dependen de distintos mecanismos de virulencia para causar enfermedad y desarrollarse en las plantas (Timilsina *et al.*, 2020).

Presenta un alto grado de especialización por hospedero, lo que ha permitido su clasificación en patovares, dentro de los cuales también se han descrito diferentes razas. Está conformado por 27 especies que ocasionan enfermedades graves en aproximadamente 400 plantas, entre ellas 268 dicotiledóneas y 124 monocotiledóneas (An *et al.*, 2019). Entre los cultivos de mayor relevancia económica afectados se encuentran el tomate y el pimiento, los cítricos, la soja, el arroz, la caña de azúcar y el plátano, entre otros (Álvarez-Martínez *et al.*, 2020).

Aspectos morfológicos

Las bacterias pertenecientes a este género son Gram negativas, de forma bacilar y aerobias, presentan un único flagelo polar que les permite desplazarse y, además, carecen de la capacidad de formar esporas (Aremu & Babalola, 2015).

En medios de cultivo artificiales, las colonias se suelen presentar de una coloración amarilla, atribuida a un pigmento de membrana denominado xanthomonadina,

encargado de su protección frente al estrés oxidativo (Francisco *et al.*, 2013). Esta pigmentación se relaciona con la capacidad de la bacteria para causar enfermedad y con su virulencia. No obstante, algunas especies con este pigmento, como *X. campestris*, también participan en la degradación de tejidos en productos vegetales poscosecha (Aremu & Babalola, 2015).

El crecimiento de las especies de *Xanthomonas* es más eficiente en un rango de temperatura relativamente alto, cercano a 25-35 °C. Así mismo, estas bacterias tienen la capacidad de incrementar su población en el hospedero hasta alcanzar niveles que favorecen su propagación (An *et al.*, 2019).

Clasificación taxonómica

Según el manual de Bergey's de bacteriología sistemática (Saddler & Bradbury, 2005), *Xanthomonas* se posiciona dentro de la siguiente clasificación:

Phylum: Proteobacteria

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Xanthomonadales

Familia: Xanthomonadaceae

Ciclo biológico

Las especies de *Xanthomonas* se transmiten principalmente por semillas, restos vegetales y malezas infectadas; pueden sobrevivir fuera de su hospedero, ya sea en lesiones presentes en hojas caídas o en el suelo (An *et al.*, 2019).

En la mayoría de los casos, estas bacterias inician su desarrollo sobre la superficie de la planta y posteriormente penetran en los tejidos a través de aberturas naturales, como estomas, lenticelas, hidatodos y nectarios, o mediante heridas (Jacques *et al.*, 2016).

El ciclo biológico de *Xanthomonas* comprende dos fases: una epifítica y otra endofítica. La fase epifítica inicia con la colonización de la superficie vegetal mediante estructuras como polisacáridos superficiales, proteínas específicas y pili de tipo IV (Nakayinga *et al.*, 2021).

Posteriormente, se forma una biopelícula que brinda protección frente a factores de estrés, como la escasez de nutrientes, la radiación ultravioleta, la sequía y las variaciones de temperatura (Álvarez-Martínez *et al.*, 2020). La planta puede activar sus mecanismos de defensa al reconocer patrones moleculares asociados a microorganismos (MAMPs) (Jacques *et al.*, 2016).

La fase endofítica inicia cuando la bacteria ingresa al interior de la planta, generalmente a través de estomas o lesiones. Una vez dentro, se desplaza por el sistema vascular e invade el mesófilo (Nakayinga *et al.*, 2021).

La entrada a través de hidatodos o heridas favorece la colonización de la vasculatura, principalmente del xilema. En especies como *X. campestris* y *X. oryzae*, las células bacterianas pueden localizarse tanto en los vasos xilemáticos como en células del tejido parenquimático adyacente, dependiendo del patovar (Jacques *et al.*, 2016).

Al alcanzar una densidad crítica, las bacterias emergen nuevamente a la superficie, lo que permite su diseminación y reinicia el ciclo infeccioso en nuevas plantas hospederas (Nakayinga *et al.*, 2021).

Sintomatología

Xanthomonas spp. puede invadir todas las partes aéreas de la planta, incluidos tallos, hojas, brotes, flores, frutos y semillas, y generar una amplia variedad de síntomas. Entre ellos se encuentran manchas acuosas en el follaje, pérdida progresiva del tejido vegetal, marchitez, pudriciones y alteraciones en el crecimiento, como hiperplasia e hipertrofia (Jacques *et al.*, 2016).

Las lesiones foliares tempranas son pequeñas, acuosas e irregulares, y posteriormente adquieren una coloración oscura. Con el tiempo, pueden fusionarse

y generar necrosis extensas que, en infecciones graves, provocan defoliación. En los frutos se observan lesiones corchosas, elevadas y de color pardo, generalmente localizadas cerca al pedúnculo (Tapia-de la Barrera *et al.*, 2023).

Estrategias de manejo

El manejo de las enfermedades causadas por bacterias y hongos es primordial para asegurar una producción agrícola eficiente, saludable y sostenible, ya que estos patógenos pueden ocasionar daños que afectan tanto la calidad como el rendimiento de los cultivos. Aunque el uso de agroquímicos ha sido una estrategia común para su manejo, su aplicación excesiva implica riesgos para la el bienestar humano y el ambiente; por ello, se han buscado distintas alternativas de control (Galindo, 2023).

Químicas

Desde 1940, el requerimiento de plaguicidas ha crecido considerablemente, impulsada por la agricultura con fines comerciales. Estos compuestos, de origen sintético o natural, se emplean para controlar, prevenir o eliminar organismos nocivos que afectan el crecimiento de los cultivos, como bacterias y hongos, mediante el uso de bactericidas y fungicidas, respectivamente (Ahmad *et al.*, 2024).

Cada ingrediente activo de los fungicidas inhibe a los agentes fúngicos patógenos mediante distintos modos de acción, los cuales alteran funciones celulares específicas (Achilonu *et al.*, 2023).

El azoxystrobin, introducido en 1990, es una estrobilurina utilizada por su eficacia contra hongos. En el suelo puede persistir entre 14 días y 6 meses, dependiendo de la actividad enzimática y de los microorganismos presentes (Baćmaga *et al.*, 2024). Este compuesto pertenece al grupo de los fungicidas sistémicos inhibidores de la quinona externa (QoI), cuyo mecanismo de acción consiste en bloquear la respiración mitocondrial al actuar sobre el sitio Qo del citocromo *b*, dentro del complejo citocromo *bc*₁ (complejo III). Como consecuencia, se impide la producción

de ATP, lo que detiene la germinación de esporas y el crecimiento del micelio en hongos fitopatógenos (Achilonu *et al.*, 2023).

La kasugamicina es un antibiótico de uso agrícola y de importancia médica, derivado de *Streptomyces kasugaensis*, que actúa contra diversos patógenos bacterianos al impedir el inicio de la traducción en células procariotas y eucariotas, sin afectar la elongación traslacional (Kaberdina *et al.*, 2009). Diversos estudios señalan que su acción se debe a que obstaculiza la asociación del ARNm y del ARNt iniciador con la subunidad menor del ribosoma, lo que impide el inicio de la síntesis proteica (Zhang *et al.*, 2022a). Además, presenta baja toxicidad; por ello, se utiliza para controlar diversas enfermedades vegetales, como el tizón de fuego, la mancha foliar y otras infecciones bacterianas (Zhang *et al.*, 2022b).

Numerosos estudios coinciden en que el uso excesivo de plaguicidas en la agricultura ha provocado degradación del suelo y el desarrollo de resistencia en plagas. Al aplicarse por aspersión sobre los cultivos, estos compuestos se dispersan con facilidad, contaminan el ambiente y representan riesgos para el bienestar humano, especialmente en trabajadores que carecen de protección adecuada. Además, pueden ser transportados por el viento y sus formulaciones pueden incrementar su toxicidad (Silveira-Gramont *et al.*, 2018).

El uso adecuado de la dosis del plaguicida, junto con una correcta calibración del equipo de aplicación, favorece un control eficiente del patógeno, disminuye el riesgo de resistencia, protege el cultivo, reduce el impacto ambiental, mejora la eficiencia del producto y contribuye a disminuir los costos de producción (INTAGRI, 2017). No obstante, el enfoque de las políticas rurales en México, orientado a mejorar la rentabilidad y la productividad de los cultivos, tiende a propiciar un incremento en el uso de plaguicidas (Silveira-Gramont *et al.*, 2018).

La integración del control químico con medidas de saneamiento ambiental permite interrumpir múltiples fases del ciclo del patógeno, por lo que resulta eficaz en enfermedades causadas por *Xanthomonas* spp., como la mancha bacteriana (Cucu *et al.*, 2025).

Culturales

Las prácticas culturales forman parte de las estrategias preventivas para controlar enfermedades y plagas, ya que se enfocan en mantener la sanidad del cultivo. Al modificar las condiciones que facilitan la supervivencia y propagación de los patógenos, ayudan a reducir notablemente su presencia (De *et al.*, 2021).

Un ejemplo de ello es la rotación de cultivos, una práctica ancestral que consiste en alternar especies en un mismo terreno; interrumpiendo en los patógenos el desarrollo biológico y limitando su desarrollo, especialmente en el caso de los organismos del suelo (Cucu *et al.*, 2025).

Otra estrategia es el cultivo intercalado, que implica sembrar varias especies simultáneamente durante la temporada. Este método altera el microclima, la estructura vegetal y la distribución de los hospedantes, reduciendo los patógenos foliares y del suelo (Richard *et al.*, 2022). Su eficacia radica en el diseño adecuado del sistema y en comprender las relaciones entre patógenos y cultivos; además de disminuir enfermedades, estabiliza la producción mediante la diversificación, consolidándose como una opción eficaz y rentable (Cucu *et al.*, 2025). La evidencia de más de 200 estudios indica que el cultivo intercalado disminuye la incidencia de enfermedades en el 73 % de las situaciones evaluadas (Richard *et al.*, 2022).

El cultivo sin suelo, incluyendo técnicas hidropónicas y sustratos inertes, se ha consolidado como una alternativa eficiente. Al emplear medios estériles y una nutrición controlada, evita los patógenos del suelo y rompe sus ciclos de desarrollo (Cucu *et al.*, 2025), además, la hidroponía incide en la actividad bacteriana (Fussy y Papenbrock, 2022); el uso de estos medios limpios controla microorganismos como *Fusarium*, *Verticillium* y nematodos, impidiendo su permanencia o reaparición (Gonnella & Renna, 2021).

Adicionalmente, es posible mejorar la calidad del suelo incorporando cultivos de cobertura como el trébol. Estos actúan como abonos verdes al integrarse al suelo cuando aún están frescos, lo que favorece el aporte de nitrógeno durante los periodos entre campañas comerciales (Richard *et al.*, 2022). Su éxito depende de

una selección de especies, duración y manejo adaptados a cada sistema productivo (Quintarelli *et al.*, 2022).

Estas prácticas ayudan a disminuir enfermedades del suelo y mejoran su calidad, pero su eficacia varía según el patógeno, el sistema de cultivo y el manejo, con lo cual, al combinarlas con otras estrategias aumenta sus beneficios (Cucu *et al.*, 2025).

Biológicas

El manejo biológico se basa en el uso de organismos vivos o de sus metabolitos para limitar el desarrollo de fitopatógenos, es una práctica ampliamente utilizada en el manejo de enfermedades y plagas, y su importancia sigue creciendo debido al descubrimiento continuo de microorganismos microbianos capaces de reducir el impacto de los patógenos en los cultivos (Reyes *et al.*, 2015).

Esta estrategia depende de la relación entre patógeno, planta, agentes biológicos y entorno, con el fin de disminuir el uso de agroquímicos y controlar el patógeno de forma ecológica (Vinchira-Villarraga & Moreno-Sarmiento, 2019). Además, se distingue de los métodos químicos por su menor impacto ambiental, mayor sostenibilidad y control duradero de enfermedades (Cucu *et al.*, 2025).

Existen dos categorías principales de bioinsumos: los bioestimulantes, que impulsan el crecimiento vegetal, y los agentes de biocontrol, que limitan los efectos de las plagas. Se considera bioestimulante vegetal a cualquier compuesto o microorganismo biológico que optimiza la nutrición de la planta, refuerza su resistencia a condiciones adversas y mejora características de calidad del producto (Chulze, 2023). Como es el caso del uso de enmiendas orgánicas, como biocarbón, compost y abonos verdes, que, fortalece el suelo al promover microorganismos benéficos y la disponibilidad de nutrientes, lo que reduce indirectamente los patógenos (Cucu *et al.*, 2025).

Los agentes de biocontrol son microorganismos o sus derivados usados para controlar enfermedades y plagas en la agricultura, generalmente de forma

específica y segura; a diferencia de los bioplaguicidas, su acción puede ser directa o indirecta, y se emplea durante el cultivo y después de la cosecha (Chulze, 2023).

El biocontrol mediante inoculantes microbianos aprovecha interacciones naturales para suprimir patógenos; Bacterias como *Bacillus* actúan por antibiosis, competencia e inducción de resistencia, destacando *B. megaterium* y *B. subtilis* por su efecto contra *Fusarium graminearum*; Además, hongos micorrícicos como *Rhizophagus intraradices* reducen enfermedades causadas por *Fusarium solani* (Cucu *et al.*, 2025).

El uso de microorganismos para controlar patógenos en plantas representa una opción eficaz y ambientalmente amigable frente a los métodos tradicionales, reduce la contaminación, limita la resistencia de microorganismos y promueve alimentos más saludables, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola (Reyes *et al.*, 2015; Cucu *et al.*, 2025).

Productos biorracionales botánicos

En distintos cultivos, el control de plagas se ha sustentado, desde hace aproximadamente medio siglo, en la aplicación de plaguicidas convencionales de amplio espectro, entre ellos organofosforados, organoclorados, piretroides y carbamatos (INTAGRI, 2015).

Diversos impactos negativos se han asociado al uso no regulado de productos químicos en el manejo de patógenos, entre ellos cambios en los ecosistemas, resistencia genética, surgimiento de nuevas plagas, su dispersión en el ambiente y efectos adversos en el bienestar humano (García-Núñez *et al.*, 2025), generando inconformidad social que busca limitar el uso de químicos y fomentar enfoques innovadores en el manejo de plagas; Así, el control biorracional surge como una estrategia prometedora para la actualidad (INTAGRI, 2015).

Los productos biorracionales son insumos agrícolas de bajo impacto ambiental, de origen natural o sintético similar a los naturales; como extractos botánicos, biopesticidas, minerales y reguladores del estrés vegetal (Esquivel-Cervantes *et al.*, 2022). Diversos estudios indican que ciertos extractos de origen vegetal actúan

como inductores de la síntesis enzimática en la planta, potenciando sus mecanismos de defensa contra patógenos; al ser mezclas complejas con actividad antifúngicos, cuyo efecto depende de su combinación y proporción (Villa-Martínez *et al.*, 2015). Además de ser compuestos por metabolitos secundarios obtenidos mediante procesos como prensado, destilación, uso de disolventes y por tecnologías modernas como ultrasonido o microondas (León-Islas *et al.*, 2025).

Estos metabolitos intervienen en la defensa, relaciones ecológicas y respuesta al estrés; su acumulación varía según la especie y el ambiente, y puede estimularse mediante elicitores como reguladores de crecimiento, por lo cual gracias a sus propiedades biológicas pueden emplearse en productos con acción repelente e insecticida, así como antifúngica, afectando patógenos de forma individual o sinérgica (León-Islas *et al.*, 2025).

Canela

Aunque la canela es ampliamente usada como especia, sus propiedades farmacológicas y microbianas favorecen su aplicación en la medicina, la industria alimentaria y la agricultura, además sus derivados o extractos actúan como inhibidores de bacterias y hongos (Kowalska *et al.*, 2021).

El cinamaldehído, es el principal compuesto del extracto a base de canela (*Cinnamomum verum*), el cual presenta actividad antimicrobiana y potencial modulador de la fermentación del rumen en bovinos y favorece el crecimiento y la alimentación en corderos (Vega-Zuñiga *et al.*, 2021). Se ha comprobado que el cinamaldehído funciona como biofungicida, mostrando efecto inhibitor sobre *Colletotrichum lagenarium*, hongo que provoca antracnosis en pepino (Kowalska *et al.*, 2021).

Clavo

El clavo (*Syzygium aromaticum*), es originario de Indonesia y cultivado en diversas regiones, es una fuente importante de compuestos fenólicos, principalmente

eugenol, lo que le atribuye un amplio potencial en aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y agrícolas (Cortés-Rojas *et al.*, 2014).

El eugenol es el compuesto clave responsable de la actividad antifúngica del clavo, constituye el principal componente volátil del aceite esencial que se extrae de *Syzygium aromaticum* L. (Rana *et al.*, 2011), donde puede representar entre el 72 y el 90 %, especialmente en los botones florales (Acedo-Zegarra *et al.*, 2020), y se le atribuye el característico aroma del clavo, además posee propiedades antioxidantes y potencial antifúngico y microbiano (Marchese *et al.*, 2017).

Cítricos

Son clasificados dentro del género *Citrus* L. de la familia Rutaceae, destacan entre los cultivos más importantes en el mercado internacional (Šafranko *et al.*, 2023).

El procesamiento de cítricos descarta cerca del 20 % de su peso en cáscaras, contribuyendo a la contaminación; pese a ello, estas presentan propiedades biológicas valiosas que pueden aprovecharse, al ser una fuente rica en compuestos bioactivos con efectos antioxidantes microbianos y anticancerígenos (Shehata *et al.*, 2021); investigaciones indican que los extractos de cítricos poseen múltiples efectos, destacando su acción contra microorganismos patógenos como bacterias y hongos (Caputo *et al.*, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El trabajo experimental se efectuó en el laboratorio de Toxicología, perteneciente al Departamento de Parasitología Agrícola en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), que se encuentra en Saltillo, Coahuila, México.

Obtención y reactivación de cepas Fitopatógenas

Se proporcionaron por el laboratorio de Toxicología las cepas de *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., y *Xanthomonas* sp.

Hongos

Se reactivaron los hongos en cajitas Petri de 80 mm de diámetro, en medio PDA. Empleando un sacabocados y punta de disección estériles, tomando un explante de 5 mm de diámetro de cada cepa y colocándolo en el centro de cada cajita, con cuatro repeticiones por cepa, cada cajita fue sellada con papel film, y se llevaron a incubar a 27 °C durante 5 a 7 días, hasta tener un crecimiento visible dentro de cada una de las cajitas.

Bacterias

Para la reactivación de la bacteria, se emplearon cajitas Petri de 80 mm de diámetro con agar nutritivo, haciendo estría sencilla, de igual manera se realizaron cuatro, se selló cada caja con papel film y se llevaron a incubar a 27 °C, de 24 a 48 horas.

Evaluación de la efectividad biológica

Se realizó la evaluación del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*), proporcionado por el laboratorio de Toxicología, se utilizó un testigo químico (azoxistrobin) para la evaluación de los hongos y en el caso de la bacteria, se utilizó como testigo químico kasugamicina.

La acción fúngica del aceite esencial se realizó empleando la técnica de medios envenenados, mientras que la actividad bacteriana se determinó utilizando la técnica de difusión en disco o técnica de Kirby-Bauer. Para la preparación de los

medios de cultivo, se usaron matraces Erlenmeyer, a los cuales se les añadió agua destilada junto con las cantidades correspondientes de medio PDA (para hongos) y agar nutritivo (para bacterias), de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (BD Bioxon), los matraces se cubrieron con papel aluminio, se agitaron suavemente para diluir el medio y se esterilizaron en una olla de presión a 120 °C a 150 psi (In in-2) por 15 minutos.

Después de retirar los matraces de la olla, se dejaron enfriar hasta alcanzar unos 35 °C, posteriormente se homogenizaron y se vaciaron en cajas Petri correspondientes para hongos y bacterias, dejándolos reposar durante 24 hrs.

Hongos

Se añadieron las concentraciones del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) de 2000, 4000 y 6000 ppm, un testigo químico y un testigo absoluto constituido únicamente por medio de cultivo, cada tratamiento contó con cuatro repeticiones. Después de agregar los tratamientos se homogenizaron y se vaciaron en cajitas Petri, dejándolo reposar por 24 hrs para su solidificación; pasando este tiempo se colocaron explante de 5 mm de diámetro de cada hongo por tratamiento.

Bacterias

Se realizó la preparación del inóculo bacteriano, empleando la escala de McFarland como referencia para estandarizar la concentración celular, donde la suspensión bacteriana se ajustó visualmente hasta obtener una turbidez similar al patrón 0.5 de McFarland, equivalente a 1.5×10^8 UFC mL⁻¹ (Thankeshwar, 2016).

Una vez obtenida la concentración adecuada, la actividad bacteriana se evaluó mediante el método de difusión en disco o técnica de Kirby-Bauer (Hudzicki, 2009). Por lo cual, la bacteria fue sembrada con ayuda de un hisopo en cajitas Petri de agar nutritivo previamente etiquetadas; posteriormente en cada caja se colocaron cuatro discos de papel filtro estériles, los cuales fueron impregnados con las diferentes concentraciones del producto biorracional (1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm y 6000 ppm); se usaron las mismas concentraciones para el testigo químico y aparte se usó un testigo absoluto en el cual los discos fueron impregnados únicamente con agua destilada estéril, con 4 repeticiones para cada uno de los

tratamientos y posteriormente las cajas se llevaron a incubar (27 °C) para observar el crecimiento del halo bacteriano a las 24 y 48 hrs.

Inhibición del crecimiento micelial

El crecimiento del diámetro micelar de cada hongo se midió cada 24 horas, empleando un vernier digital milimétrico proporcionado en el laboratorio, tomando medidas hasta que el testigo absoluto llenó la caja con crecimiento del micelio, lo cual indica en qué momento detener la medición. Se tomaron dos lecturas del diámetro cruzadas, se promediaron las medidas en milímetros (mm), empleando la fórmula de Bautista *et al.*, (2002) para calcular los valores finales correspondientes a el porcentaje de inhibición:

$$\% \text{ de inhibicion} = \frac{dc - dt}{dc} \times 100$$

Dichos autores mencionan que “**dc**” representa en diámetro promedio (mm) de crecimiento del micelio del control y “**dt**” el diámetro de crecimiento del micelio en los productos evaluados a las diferentes concentraciones.

Conteo de esporas

Después de finalizar las mediciones del crecimiento micelial, se procedió a contar las esporas de cada repetición evaluada. Para ello, se colocaron 10 ml de agua destilada en tubos de vidrio previamente esterilizados y enfriados a temperatura ambiente. Posteriormente, mediante un sacabocados de 5 mm de diámetro, se obtuvieron cinco explantes de cada tratamiento, los cuales fueron transferidos a los tubos previamente etiquetados con la concentración y repetición correspondiente.

Posteriormente, las muestras se agitaron vigorosamente con la finalidad de desprender las esporas y homogenizar la suspensión. Posteriormente, se tomaron 10 µL de la suspensión y se colocaron en una cámara de Neubauer para realizar el conteo de esporas. La observación se efectuó en un microscopio utilizando aumentos de 10X y 40X. Finalmente, el porcentaje de producción de esporas se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{No. de esporas} = (\text{No. esporas}/5)(25)(10,000)(10)$$

Donde numero de esporas se divide entre 5 que corresponde a los cinco cuadrantes contados, despues se multiplica por 25 que corresponde el total de cuadrantes de la camara de Neubauer, por 10,000 que es el factor de dilución y al final por 10 que son los mililitros en los que se colocaron los explantes.

Análisis Estadístico

A partir de los porcentajes de inhibición micelial obtenidos, se efectuó un análisis de varianza y una prueba de medias Tukey con un nivel de significancia de <0.05. Con las madias obtenidas se sometieron a un análisis dosis-respuesta Probit, con la finalidad de estimar la CL₅₀ (Concentración letal media) utilizando en programa SAS (Statistical Analysis Software) versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos para inhibición micelial, en el Cuadro 1 se muestran los porcentajes de inhibición de *Fusarium* spp. tratados con diferentes concentraciones de un producto biorracional a base de aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*), donde la concentración a 6000 ppm presentó la mayor eficiencia antifúngica, alcanzando un 90 % de inhibición micelial. Mostrando un comportamiento similar al reportado por Acedo-Zegarra y colaboradores (2020), quienes evaluaron a *Syzygium aromaticum* frente a *Fusarium oxysporum* mediante pruebas *in vitro*, obteniendo una inhibición del 100 % del crecimiento fúngico a una concentración más elevada de 50 000 ppm. De manera similar, Giménez-Santamarina y colaboradores (2025), reportaron porcentajes de inhibición cercanos al 77 y 88 % al evaluar el aceite esencial de clavo tanto en *F. oxysporum* como en *F. solani* respectivamente.

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición micelial de *Fusarium* spp. tratado con diferentes concentraciones de aceite de clavo.

<i>Fusarium</i> spp.		
Tratamiento (ppm)	% de inhibición	Desviación Estándar
2000	50.940 b	8.838
4000	88.783 a	0.330
6000	90.000 a	0.354
T. Q	32.098 c	4.005
T. A	0.000 d	0.000

En el cuadro 2 se observa que el aceite de clavo fue el producto con mayor efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelar de *Alternaria* spp., alcanzando un 90.33 % de inhibición a 6000 ppm, superando al tratamiento químico, el cual presentó una inhibición de 44.73 %. Esto coincide con lo reportado por Hernández-López y colaboradores (2018), quienes usaron aceite de clavo a 10 000 ppm e incorporaron en películas biodegradables, logrando inhibiciones miceliales del 100 % sobre *Alternaria alternata*, *Penicillium digitatum* y *Fusarium oxysporum* en comparación con el tratamiento de control.

Cuadro 2. Porcentaje de inhibición micelial de *Alternaria* spp. tratado con diferentes concentraciones de aceite de clavo.

<i>Alternaria</i> spp.		
Tratamiento (ppm)	% de inhibición	Desviación Estándar
2000	44.868 c	0.988
4000	65. 925 b	0.531
6000	90.330 a	0.171
T. Q	44.735 c	14.669
T. A	0.000 d	0.000

De igual manera, se calculó la concentración letal media (CL₅₀) del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) para las cepas evaluadas de *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp. (Cuadro 3). Los resultados mostraron que la menor CL₅₀ correspondió a *Alternaria* spp., con un valor de 903.14 ppm, frente a la cepa de *Fusarium* spp. Esto coincide con Sharma y colaboradores (2016), quienes evaluaron el aceite de clavo,

inhibiendo completamente el crecimiento micelial y la germinación de esporas de *F. oxysporum* a 125 ppm con valores de CL₅₀ de 18,2 y 0,3 ppm.

Cuadro 3. Concentración letal media, límites fiduciales y ecuación de predicción del aceite de clavo sobre las cepas de *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp.

		ppm					
CEPA	P.A.	CL ₅₀	LFI	LFS	CL ₉₅	Ec. Predicción	P - valor
<i>Fusarium</i>	Aceite de clavo	987.77	-	-	13162	Y = - 4.3798 + 1.4625	0.0001
<i>Alternaria</i>	Aceite de clavo	903.14	-	-	76803	Y = -2.5196 + 0.8524	<.0001

Respecto a la producción de esporas de *Fusarium* spp. (Cuadro 4) el control presentó 9 625 000 esporas, mientras que la concentración de 6000 ppm redujo significativamente el número de esporas a 875 000, inhibiendo cerca del 91 % respecto al testigo. Por otro lado, la dosis de 4000 ppm mostró una reducción moderada del número de esporas. De manera similar Andrade-Hoyos y colaboradores (2022), reportaron que el aceite de clavo aplicado a 60 ppm permitió una producción de 207 esporas por mL en *Fusarium* sp. Además, el aceite esencial de tomillo a 300 ppm redujo a 73 el número de esporas.

Cuadro 4. Efecto del aceite de clavo sobre la producción de esporas de *Fusarium* spp.

<i>Fusarium</i> spp. (esporas)		
Tratamiento (ppm)	No. Esporas	Desviación Estándar
2000	9250000 a	3427827.30
4000	5750000 ab	645497.22
6000	875000 c	478713.55
T. Q	4625000 bc	1701714.82
T. A	9625000 a	2174664.73

En *Alternaria* spp. se observó una disminución progresiva del número de esporas conforme aumentó la concentración del tratamiento (Cuadro 5). El control presentó el mayor valor con 9 750 000 esporas, mientras que a 6000 ppm el tratamiento mostró menor cantidad con 625 000 esporas inhibiendo el 93 % respecto al testigo. mientras que 2000 ppm presentó un efecto intermedio. Esto difiere con Wu y colaboradores (2026), quienes reportaron que el extracto de clavo a una concentración de 30 mg /mL redujo la supervivencia de esporas al 40 % en *A. alternata*.

Cuadro 5. Efecto del aceite de clavo sobre la producción de esporas de *Alternaria* spp.

<i>Alternaria</i> spp. (esporas)		
Tratamiento (ppm)	No. Esporas	Desviación Estándar
2000	5000000 b	816496.58
4000	2875000 c	629152.87
6000	625000 d	250000.00
T. Q	2250000 cd	1040833.00
T. A	9750000 a	1040833.00

En la evaluación del aceite de clavo sobre *Xanthomonas* spp. no se mostró efecto inhibitorio utilizando la técnica de discos. En los tres bioensayos realizados no se observó formación de halos de inhibición ni reducción visible del crecimiento bacteriano, indicando que el producto no presentó actividad bacteriana bajo las condiciones evaluadas.

Majeed y colaboradores (2016) reportaron que las nanoemulsiones de aceite de clavo con carga negativa mostraron mayor actividad frente a bacterias Gram positivas, como *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*. En contraste, el efecto sobre bacterias Gram negativas, como *Escherichia coli*, fue más limitado, lo cual se atribuyó a diferencias en la estructura de la membrana celular. Considerando que *Xanthomonas* spp. es una bacteria Gram negativa, la ausencia de inhibición observada podría estar relacionada con la barrera que representa su membrana externa.

Estos resultados difieren de lo reportado por Kolozsváriné y colaboradores (2023), quienes evaluaron diversos aceites esenciales con actividad frente a *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. en su estudio, el aceite de clavo presento menor inhibición en comparación con los aceites de canela y tomillo; los cuales mostraron mayor eficiencia bacteriana. Esto sugiere que la actividad antimicrobiana puede variar según la composición química de cada aceite esencial y la sensibilidad de la bacteria a evaluar.

CONCLUSIÓN

La evaluación del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) mostró una importante actividad antifúngica frente a *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp., ya que logró inhibir el crecimiento de ambos fitopatógenos y reducir la producción de esporas. Estos resultados indican que el aceite evaluado tiene potencial para el manejo de hongos fitopatógenos. Sin embargo, en la evaluación realizada sobre *Xanthomonas* spp. no se observó efecto inhibitorio, debido a que no se presentó reducción del crecimiento bacteriano bajo las condiciones evaluadas. Por lo tanto, se concluye que el aceite de clavo presenta mayor eficiencia contra los hongos que en la bacteria evaluada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acedo-Zegarra, V.J., Arana-Bardales, D.F. & Condo-Montano, A.E. (2020) Actividad antifúngica *in vitro* de diferentes concentraciones de *Syzygium aromaticum* “clavo de olor” contra *Fusarium oxysporum*., Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable., 4 (1) 35 - 42. <https://doi.org/10.25127/aps.20201.541>
- Achilonu, C.C., Gryzenhout, M., Ghosh, S. & Marais, G. J. (2023) *In Vitro* Evaluation of Azoxystrobin, Boscalid, Fentin - Hydroxide, Propiconazole, Pyraclostrobin Fungicides against *Alternaria alternata* Pathogen Isolated from *Carya illinoensis* in South Africa., Microorganisms., 11 (7) 1 - 13. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071691>
- Andrade - Hoyos, P., Urrieta - Velázquez, J.A., Landero - Valenzuela, N., Reyes - de la Cruz, H., Sampayo - Maldonado, S. & Luna - Cruz, A. (2022) Potencial de los aceites esenciales en el control de *Phytophthora Rands* y *Fusarium* sp. *in vitro* en *Cinamomum verum*., Terra latinoamericana., 40 (1) - 10. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1004>
- Ahmad, M.F., Ahmad, F.A., Alsayegh, A.A., Zeyaulah, M., AlShahrani, A.M., Muzammil, K., Saati, A.A., Wahab, S., Elbendary, E.Y., Kambal, N., Abdelrahman, M.H. & Hussain, S. (2024) Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures., Heliyon., 10 (7) 1 - 26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128>
- Ajmal, M., Hussain, A., Ali, A., Chen, H. & Lin, H. (2023) Estrategias para controlar la esporulación en *Fusarium* spp., Journal of Fungi., 9 (11) 1 - 18. <https://doi.org/10.3390/jof9010010>
- Álvarez-Martínez, C. E., Sgro, G. G., Araujo, G. G., Paiva, M. R. N., Matsuyama, B. Y., Guzzo, C. R., Andrade, M. O. & Farah, C. S. (2020) Secrete or perish: The role of secretion systems in *Xanthomonas* biology., Computational and

- structural biotechnology journal., 19., 279 - 302.
<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.12.020>
- An, S., Potnis, N., Dow, M., Vorhölter, F., He, Y., Becker, A., Teper, D., Li, Y., Wang, N., Bleris, L. & Tang, J. (2019) Mechanistic insights into host adaptation, virulence and epidemiology of the phytopathogen *Xanthomonas*., FEMS Microbiology Reviews., 44., 1 - 32. doi: 10.1093/femsre/fuz024
- Aremu, B.R. & Babalola, O.O. (2015) Classification and Taxonomy of Vegetable Macergens. Frontiers in microbiology., 6., 1 - 11.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01361>
- Baćmaga, M., Wyszowska, J. & Kucharski, J. (2024) Response of Soil Microbiota, Enzymes, and Plants to the Fungicide Azoxystrobin., International Journal of Molecular Sciences., 25 (15) 1 - 22. <https://doi.org/10.3390/ijms25158104>
- Bejarano - Rivera, C., López - Villacís, I., Vaca - Vaca, C. & Mera - Andrade, R. (2021) Producción agrícola sustentable para el sector pecuario y el cambio climático., Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias., 5 (14) 274 - 284. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.117>
- Caicedo - Aldaz, J.C., Puyol - Cortez, J.L., López, M. C. & Ibañez- Jacome, S.S. (2020) Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles., Revista de Ciencias Sociales (Ve)., XXVI (4) 308 - 325. Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28065077024>
- Caputo, L., Quintieri, L., Cavalluzzi, M. M., Lentini, G. & Habtemariam, S. (2018) Antimicrobial and Antibiofilm Activities of Citrus Water-Extracts Obtained by Microwave-Assisted and Conventional Methods., Biomedicines., 6 (2) 1 - 14. <https://doi.org/10.3390/biomedicines6020070>
- Chulze, S.N. (2023) Agentes de control biológico de origen microbiano para reducir el impacto de hongos patógenos y toxicogénicos., Revista argentina de microbiología., 55 (1) 1 - 3. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.02.001>

- Córdova, P., Rivera - González, J.P., Rojas - Martínez, V., Fiore, N., Bastías, R., Zamorano, A., Vera, F., Barrueto, J., Díaz, B., Ilabaca - Díaz, C. & Bertaccini, A., Higuera, G. (2023) Phytopathogenic *Pseudomonas syringae* as a Threat to Agriculture: Perspectives of a Promising Biological Control Using Bacteriophages and Microorganisms., *Horticulturae*., 9 (6) 1 - 33. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060712>
- Cortés-Rojas, D. F., de Souza, C. R. & Oliveira, W. P. (2014) Clove (*Syzygium aromaticum*): a precious spice., *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*., 4 (2) 90 - 96. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(14\)60215-X](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(14)60215-X)
- Cubero, J., Redondo, C., Sabuquillo, P., Sena - Vélez, M. & Garita - Cambronero, J., Ferragud, E. (2015) *Xanthomonas* un género de bacterias fitopatógenas con una alta especialización., *Sociedad Española de Microbiología*., (60) 38 - 41. <https://www.sem microbiologia.org/wp-content/uploads/2021/04/16-Plantas03.pdf>
- Cucu, M.A., Choudhary, R., Trkulja, V., Garg, S. & Matić, S. (2025) Utilizing Environmentally Friendly Techniques for the Sustainable Control of Plant Pathogens: A Review., *Agronomy*., 15 (7) <https://doi.org/10.3390/agronomy15071551>
- De, L.C., De, T., Biswas, S.S. & Kalaivanan, N.S. (2021) Organic plant nutrient, protection and production management., *En ElseviereBooks*., *Advances in Organic Farming: Agronomic Soil Management Practices*., 115 - 131. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822358-1.00010-9>
- DeMers, M. (2022) *Alternaria alternata* as endophyte and pathogen. *Microbiology*., 168 (3) 001153.
- De Silva, D.D., Crous, P.W., Ades, P.K., Hyde, K.D. & Taylor, P.W. (2017) Life styles of *Colletotrichum* species and implications for plant biosecurity., *Fungal Biology Reviews*., 31 (3) 155 - 168. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.05.001>

- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024a) p.14 https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf fecha de consulta 03 de marzo de 2026
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024b) p.17 https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf fecha de consulta 03 de marzo de 2026
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024c) p.36, https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf fecha de consulta 03 de marzo de 2026
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024d) p. 154 https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf fecha de consulta 03 de marzo de 2026
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025e) <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/es/articulos/cosechando-numeros-del-campo-399014?idiom=es> fecha de consulta 04 de marzo de 2026
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016f) <https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/es/articulos/el-impacto-de-las-plagas-y-enfermedades-en-el-sector-agricola> fecha de consulta 07 de marzo de 2026
- Doehlemann, G., Okmen, B., Zhu W. & Sharon A. (2017) Plant pathogenic fungi., *Microbiology Spectrum.*, 5 (1) 1 - 23. doi: 10.1128/microbiolspec.funk-0023-2016
- Ekwomadu, T.I. & Mwanza, M. (2023) *Fusarium* Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects, Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research., *Agriculture.*, 13 (9) 1 - 20. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091810>
- Escalera - Mares, N.M., Lira - Morales, J.D., Salazar - Villa, E., Molina - Cárdenas, L. & Rojo - Báez, I. (2026) *Alternaria* en México: Caracterización morfológica y

- molecular, enfermedades asociadas y estrategias de manejo., Revista Mexicana de Fitopatología., 44 (1) 1 - 21. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-32>
- Espinoza - Vaca, J.S., Cruz, C.M., Artieda, J.R. & Lascano, M.K. (2025) La economía agrícola y su relación con el comercio internacional., Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS., 7 (2) 224 - 231. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v17i2.1429>
- Esquivel - Cervantes, L.F., Tlapal - Bolaños, B., Tovar - Pedraza, J.M., Pérez - Hernández, O., Leyva - Mir, S.G. & Camacho - Tapia, M. (2022) Efficacy of Biorational Products for Managing Diseases of Tomato in Greenhouse Production., Plants., 11 (13) 1 - 15. <https://doi.org/10.3390/plants11131638>
- Fernandes, C., Casadevall, A. & Gonçalves, T. (2023) Mecanismos de patogénesis de *Alternaria* en animales y plantas., FEMS Microbiology Reviews., 47 (6) 1 - 25. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad061>
- Francisco, N., Gallegos, G., Ochoa, Y., Hernández, F., Benavides, A. & Castillo, F. (2013) Aspectos Fundamentales del Tizón Común Bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith): Características, Patogenicidad y Control., Revista Mexicana de Fitopatología., 31 (2) 147 - 160. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092013000200006&lng=es&tlng=es.
- Fussy, A. & Papenbrock, J. (2022) An Overview of Soil and Soilless Cultivation Techniques - Changes and the Neglected Question of Sustainability., Plants., 11 (9) 1 - 32. <https://doi.org/10.3390/plants11091153>
- Galindo, E. (2023) Multidisciplina, componente fundamental de la innovación en el control biológico de fitopatógenos., Revista Mexicana de Fitopatología., 41 (3) 319 - 325. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2308-1>
- García Lozano, T. & Aznar Oroval, E. (2013) Fusariosis: infecciones por *Fusarium* spp. Una breve nota., Revista del Laboratorio Clínico., 6 (4) 185 - 189. DOI: 10.1016/j.labcli.2013.07.003

- García - Núñez, H.G., Soria - Díaz, J.M., Arzate - Fernández, A.M., Norman - Mondragón, T.H. & Cruz - Torres, E.D. (2025) Evaluación in vitro de nanopartículas de síntesis verde y otros métodos biorracionales para el control de *Pectobacterium carotovorum* en *Agave cupreata*., *Polibotánica*., (59) 213 - 224. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.59.13>
- Garg, S., Kumar, D.R., Yadav, S., Kumar M. & Yadav, J. (2020) *Alternaria Blight* of Tomato: A Review of Disease and Pathogen Management Approaches., *Acta Scientific Agriculture*., 4 (11) 8 - 15. doi: 10.31080/ASAG.2020.04.0908.
- Gauthier, N., Szarka, D. & Kaiser, C. (2022) Marchitez por *Fusarium* en Cultivos de Hortalizas., *Hoja Informativa de Fitopatología*., College of Agriculture., Food and Environment Cooperative Extension Service. <https://plantpathology.mgcafe.uky.edu/sites/plantpathology.ca.uky.edu/files/PPFS-VG-15-S.pdf>
- Giménez - Santamarina, S., Torres - Pagan, N., Larran, S., Roselló, J. & Santamarina, M.P. (2025) Clove Essential Oil and Eugenol as Natural Antifungal Agents to Reduce Postharvest Losses in Melon (*Cucumis melo*)., *International Journal of Molecular Sciences*., 26 (19) 1 - 18. <https://doi.org/10.3390/ijms26199603>
- Gonnella, M., & Renna, M. (2021) The Evolution of Soilless Systems towards Ecological Sustainability in the Perspective of a Circular Economy. Is It Really the Opposite of Organic Agriculture., *Agronomy*, 11 (5), 1 - 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050950>
- Hernández - López, M., Guillén - Sánchez, J., Bautista - Baños, S. & Guillén - Sánchez, D. (2018) Evaluación de películas biodegradables en el control de hongos postcosecha de la papaya. *Cultivos Tropicales*, 39 (1) 52 - 60. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000100006&lng=es&tlng=es.

- Hernández, Y. (2023) Bacterias causantes de enfermedades en cultivos de interés agrícola en Venezuela., Revista De La Facultad de Agronomía, 1 (76), 133 - 160. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/25605
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI) (2015) ¿Qué significa en Realidad Control Biorracional de Plagas? <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/Significado-real-control-biorracional-plagas> fecha de consulta 29 de abril de 2026
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI) (2017) Cálculo de la Dosificación de un Plaguicida. Serie Fitosanidad. (75) <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/calculo-de-la-dosificacion-de-un-plaguicida> fecha de consulta 30 de abril de 2026
- Jacques, M.A., Arlat, M., Boulanger, A., Boureau, T., Carrère, S., Cesbron, S., Chen, N.W.G., Cociancich, S., Darrasse, A., Denancé, N., Saux, M., Gagnevin, L., Koebnik, R., Lauber, E., Noël, L.D., Pieretti, I., Portier, P., Pruvost, O., Rieux, A., Robène, I., Royer, M., Szurek, B., Verdier, V. & Vernière, C. (2016) Using Ecology, Physiology, and Genomics to Understand Host Specificity in *Xanthomonas*., Annual Review Phytopathology., 54, 163 - 187. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-100147>
- Jáquez- Matas, S.V., Pérez - Santiago, G., Márquez - Linares, M.A. & Pérez - Verdín., G. (2022) Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México., Revista Internacional de Contaminación Ambiental., 38, 219 - 233. <https://doi.org/10.20937/rica.54169>
- Kaberdina, A.C., Szaflarski, W., Nierhaus, K.H. & Moll, I. (2009) An unexpected type of ribosomes induced by kasugamycin: a look into ancestral times of protein synthesis., Molecular cell., 33 (2), 227 - 236. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2008.12.014>
- Kolozsváriné Nagy, J., Móricz, Á., Böszörményi, A., Ambrus, Á. & Schwarczinger, I. (2023) Antibacterial effect of essential oils and their components against *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* revealed by microdilution and direct

- bioautographic assays., *Frontiers in cellular and Infection Microbiology*., 13.
doi: 10.3389/fcimb.2023.1204027
- Kowalska, J., Tyburski, J., Matysiak, K., Jakubowska, M. & Łukaszyk, J., Krzysińska, J. (2021) Cinnamon as a Useful Preventive Substance for the Care of Human and Plant Health., *Molecules*., 26 (17), 1 - 13.
<https://doi.org/10.3390/molecules26175299>
- Landero - Valenzuela, N., Lara - Viveros, F.M., Andradre - Hoyos, P., Aguilar - Pérez, L.A. & Aguado - Rodríguez, G.J. (2016) Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp., *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*., 7 (5) 1189 - 1198.
- León - Islas, N.G., Aquino - Torres, E., Espitia - López, J., Rivero - Pérez, N. & Madariaga - Navarrete, A. (2025) Extractos de plantas como herramientas potenciales en el control de plagas y fitopatógenos en la agricultura., *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*., Publicación semestral., 11 (22), 1 - 7.
<https://doi.org/10.29057/icap.v11i21.14144>
- Majeed, H., Liu, F., Hategekimana, J., Sharif, H.R., Qi, J., Ali, B., Bian, Y. Y., Ma, J., Yokoyama, W. & Zhong, F. (2016) Bactericidal action mechanism of negatively charged food grade clove oil nanoemulsions., *Food chemistry*., 197., 75 - 83.
10.1016/j.foodchem.2015.10.015
- Marchese, A., Barbieri, R., Coppo, E., Orhan, I. E., Daglia, M., Nabavi, S. F., Izadi, M., Abdollahi, M., Nabavi, S. M. & Ajami, M. (2017) Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: A mechanistic viewpoint., *Critical reviews in microbiology*., 43 (6), 668 - 689.
<https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1295225>
- Muñoz Monsalve, C. (2020) Operaciones especiales y de conservación en la postcosecha de frutas y hortalizas., *Notas de Campus*, 1.
DOI: <https://doi.org/10.22490/notas.3533>
- Nakayinga, R., Makumi, A., Tumuhaise, V. & Tinzaara, W. (2021) *Xanthomonas* bacteriophages: a review of their biology and biocontrol

- applications in agricultura., BMC Microbiol., 21 (291), 1 - 20.
<https://doi.org/10.1186/s12866-021-02351-7>
- Navarro - León, M.J., Raya - Pérez, J.C., Aguirre - Mancilla, C.L., Covarrubias - Prieto, J., Pérez - Moreno, L. & Ramírez Pomentel, J.G. (2025) Identificación de bacterias asociadas a síntomas en follaje de ajo en dos localidades de Guanajuato., Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas., 16 (1), 1 - 11.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3382>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2025) Agricultural production statistics - 2010-2024. FAOSTAT Analytical Briefs., 121. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd8035en>
- Organización Europea y Mediterránea para la Protección vegetal (EPPO) (2020) Fusarium. En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG> fecha de consulta 6 de abril de 2026
- Perincherry, L., Lalak - Kańczugowska, J. & Stępień, Ł. (2019) *Fusarium*-Produced Mycotoxins in Plant-Pathogen Interactions., Toxins (Basel)., 11 (11), doi: 10.3390/toxins11110664
- Quintarelli, V., Radicetti, E., Allevato, E., Stazi, S. R., Haider, G., Abideen, Z., Bibi, S., Jamal, A., & Mancinelli, R. (2022) Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review., Agriculture., 12 (12), 1 - 21.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12122076>
- Radchenko, E.E. & Sokolova, D.V. (2018) Resistance of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) Taub To harmful organism., Agric Biol., 53., 897 - 906. doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.897eng
- Rana, I. S., Rana, A. S. & Rajak, R. C. (2011) Evaluation of antifungal activity in essential oil of the *Syzygium aromaticum* (L.) by extraction, purification and analysis of its main component eugenol., Brazilian journal of microbiology., 42 (4), 1269 - 1277. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000400004>

- Reyes Tena, A., Rincón Enríquez, G., López Pérez, L., Evangelista Martínez, Z. & Quiñones Aguilar, E. (2015) Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas., *Revista Digital Universitaria.*, 16 (11), 1 - 15. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num11/art92/index.html>
- Richard, B., Qui, A. & Fitt, B.D.L. (2022) Control of crop diseases through Integrated Crop Management to deliver climate - Smart farming systems for low - and high - input crop production., *Plant Pathology.*, 71 (1), 187 - 206. <https://doi.org/10.1111/ppa.13493>
- Rivas, L.M. & Mühlhauser, M. (2014) *Alternaria* spp., *Revista chilena de infectología*, 31 (5), 605 - 606. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000500013>
- Rodríguez - Grimaldo, J.E., González, G.M. & Montoya, A.M. (2022) *Fusarium*: un fitopatógeno que amenaza la salud humana., *Revista De Divulgación Científica y Tecnológica De La Universidad Autónoma De Nuevo León.*, 25 (114), 37 - 43. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl25.114-1>
- Saddler, G.S. & Bradbury, J.F. (2005) *Xanthomonadales* ord. nov., *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology.*, 63 - 122. https://doi.org/10.1007/0-387-28022-7_3
- Šafranko, S., Šubarić, D., Jerković, I. & Jokić, S. (2023) Citrus By-Products as a Valuable Source of Biologically Active Compounds with Promising Pharmaceutical, Biological and Biomedical Potential., *Pharmaceuticals (Basel).*, 16 (8), 1 - 33., <https://doi.org/10.3390/ph16081081>
- Salotti, I., Giorni, P. & Battilani, P. (2024) Biology, ecology, and epidemiology of *Alternaria* species affecting tomato: ground information for the development of a predictive model., *Frontiers in Plant Science.*, 15., 1 - 16. [10.3389/fpls.2024.1430965](https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430965)
- Schmey T., Tominello - Ramirez, C.S, Brune, C. & Stam, R. (2024) *Alternaria* diseases on potato and tomato., *Molecular Plant Pathology.*, 25 (3), 1 - 19. <https://doi.org/10.1111/mpp.13435>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2018) <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/como-beneficia-la-agricultura-a-las-familias-mexicanas> fecha de consulta 08 de febrero de 2026
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2024) <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-de-la-produccion-alimentaria-en-mexico?idiom=es> fecha de consulta 09 de febrero 2026
- Secretaría de Economía (2017) <https://www.gob.mx/se/articulos/sectores-productivos-de-mexico-en-el-contexto-mundial> fecha de consulta 17 de febrero de 2026
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2021) Ficha técnica para el diagnóstico de: Especies del género *Alternaria* que afectan brasicáceas (Brassicaceae)., Tecámac, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723904/10._Ficha_tecnica_diagnostico_Genero_Alternaria.pdf fecha de consulta 13 de abril de 2026
- Shehata, M. G., Awad, T. S., Asker, D., El Sohaimy, S. A., Abd El-Aziz, N. M. & Youssef, M. M. (2021) Antioxidant and antimicrobial activities and UPLC-ESI-MS/MS polyphenolic profile of sweet orange peel extracts., *Current Research in Food Science.*, 4., 326 - 335. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.05.001>
- Silveira - Gramont, M.I., Aldana - Madrid, M.L., Piri - Santana, J., Valenzuela - Quintanar, A.I., Jasa - Siveira, G. & Rodríguez - Olibarria, G. (2018) Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de sonora, México., *Revista internacional de contaminación ambiental.*, 34 (1), 7 - 21. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01>
- Snabeer, S., Tahira, R. & Jamal, A. (2021) Producción de micotoxinas, enfermedades y manejo de *Fusarium* spp.: una visión general., *Pakistan Journal of Agricultural Research.*, 34, (2), 278 - 293. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.278.293>

- Solórzano - Solórzano, J.A., Vélez - Zambrano, S.M. & Vélez - Olmedo, J.B. (2024) *Fusarium* spp. en el cultivo de maíz: Identificación, distribución geográfica, sintomatología, micotoxinas, ciclo de la enfermedad, control, y desafíos actuales y futuros., *Scientia Agropecuaria.*, 15 (4), 537-556. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.040>
- Tapia - de la Barrera, L.B., Báez - Sañudo, M.A., García - Estrada, R.S., Tovar - Pedraza, J.M. & Carrillo - Fasio, J.M. (2023) Identificación de especies y razas fisiológicas de *Xanthomonas* aisladas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) y chile (*Capsicum annuum*) en Sinaloa, México., *Revista Mexicana de Fitopatología.*, 41 (3), 326-342. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2210-2>
- Thomma, B.P.H.J. (2003) *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite., *Molecular Plant Pathology.*, 4 (4), 225 - 236. <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x>
- Timilsina, S., Potnis, N., Newberry, E.A., Liyanapathirana, P., Iruegas-Bocardo, F., White, F.F., Goss, E.M. & Jones, J.B. (2020) *Xanthomonas* diversity, virulence and plant-pathogen interactions., *Nat Rev Microbiol.*, 18 (8), 415-427. doi: 10.1038/s41579-020-0361-8.
- Tovar - Pedraza, J.M. & García - León, E. (2025) Hongos causantes de enfermedades en cultivos de importancia económica en Sinaloa: Una lista actualizada., *Bioc Scientia.*, 1 (1), 1 - 23. <https://doi.org/10.63622/RBS.2505>
- United States Department of Agriculture (USDA) (2024) <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2024/september/global-changes>
fecha de consulta 06 de febrero de 2026
- Vásquez - Ramírez, L.M. & Castaño - Zapata, J. (2017) manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [*fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (sacc.) w.c. snyder & h.n. hansen]: una revisión., *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.*, 20 (2), 363-374. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262017000200014&lng=en&tlng=es.

- Velásquez - Valle, R., Reveles - Torres, L.R. & Reveles - Hernández, M. (2017) Identificación de enfermedades causadas por bacterias y nematodos en cultivos de Aguascalientes, Durango y Zacatecas., Folleto Técnico., 89., Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC - INIFAP, 38. 1 - 38. <http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/Folleto%20Tecnico%2089.pdf>
- Vega-Zúñiga, M.A., Vázquez-Armijo, J.F., Martínez-González, J.C., Quintanilla-Medina, J.J., Lucero-Magaña, F.A. & López-Aguirre, D. (2021) Extracto de canela sobre las características de fermentación ruminal en sistemas in vitro., Ecosistemas y recursos agropecuarios., 8 (3), 1 - 10. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2763>
- Villa -Martínez, A., Pérez - Leal, R., Morales - Morales, H.A., Basurto - Sotelo, M., Soto - Parra, J.M. & Martínez - Escudero, E. (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>
- Villarino - Fernández, L., Ríos - Hernández, A. (2025) Requisitos de calidad y eficiencia en los procesos mecanizados de las miniindustrias agropecuarias., Ingeniería Agrícola., 15. Cu-ID: <https://cu-id.com/2284/v15e17>
- Vinchira - Villarraga, D.M. & Moreno - Sarmiento, N. (2019) Control biológico: Camino a la agricultura moderna., Revista Colombiana de Biotecnología., XXI, (1), 2 - 5. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860>
- Vinogradova, S.A., Kiselev, K.V. & Suprun, A.R. (2026) An Overview of the *Alternaria* Genus: Ecology, Pathogenicity and Importance for Agriculture and Human Health., J Fungi (Basel)., 12 (1), 1 - 22. doi: 10.3390/jof12010064
- Wang, W.J., Li, J., Zhao, G., Wang, Y.P., Fan, S., Dong, Y.Q., Yang L.N. & Zhan, J. (2025) Pathogenicity and virulence of *Phytophthora infestans*: The ever-evolving threat to food security and its sustainable management strategies., Virulence., 16 (1), 1 - 22. 10.1080/21505594.2025.2586882

- Wang, Z., Luo, W., Cheng, S., Zhang, H., Zong, J. & Zhang, Z. (2023) *Ralstonia solanacearum* - A soil borne hidden enemy of plants: Research development in management strategies, their action mechanism and challenges., *Frontiers in Plant Science*, 14., 1 - 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141902>
- Wu, Y., Chang, M., Liu, Y., Chen, T., Li, Z., Li, W., Liu, D., He, L. & Sun, H. (2026) Preservative effects of clove extract against *Alternaria Alternata* on postharvest strawberries and associated shifts in microbial communities., *Frontiers in microbiology*., 17., 1 - 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2026.1736375>
- Yang, Y., Gan, Y., Xu, W., Huang, Y., Xin, T., Tan, R. & Song, J. (2025) Análisis del genoma completo para la identificación de especies *de Alternaria*., *Journal of Fungi*., 11 (3), 1 - 16. <https://doi.org/10.3390/jof11030185>
- Zhang, H., Zhang, C., Xiang, X., Zhang, Q., Zhao, W., Wei, G. & Hu, A. (2022) (b) Uptake and transport of antibiotic kasugamycin in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings., *Frontiers in microbiology*., 13., <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.948171>
- Zhang, Y., Aleksashin, N.A., Klepacki, D., Anderson, C., Vázquez - Laslop, N., Gross, C.A. & Mankin, A.S. (2022) (a) The context of the ribosome binding site in mRNAs defines specificity of action of kasugamycin, an inhibitor of translation initiation., *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*., 119 (4) <https://doi.org/10.1073/pnas.2118553119>