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

Agua Activada por Plasma y Nano encapsulados en el Desarrollo de Colletotrichum gloeosporioides Sobre Frutos de Mango (Mangifera indica) en Postcosecha

Por:

JUAN GERARDO VARGAS MORALES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Octubre 2026

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

Agua Activada por Plasma y Nano encapsulados en el Desarrollo de Colletotrichum gloeosporioides Sobre Frutos de Mango (Mangifera indica) en Postcosecha

Por:

JUAN GERARDO VARGAS MORALES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité Asesor:

DRA NADIA LANDERO VALENZUELA
Asesor Principal

DR GUSTAVO SORIA ARGUELLO
Asesor Principal Externo

DRA. CARMEN ALICIA AYALA CONTRERAS
Coasesor

M.C HENED SAADE CABALLERO
Coasesor

DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Octubre 2026

Declaración de no plagio

El autor, responsable directo, declara bajo protesta de decir verdad que en este trabajo no se ha incurrido en plagio ni en conducta académica indebida, incluyendo: copiar y pegar fragmentos sin citar la fuente original; reproducir un propio trabajo previo sin referencia; comprar, robar, solicitar prestado datos o tesis para presentarlos como propios; omitir referencias bibliográficas o citaciones textuales sin comillas; usar ideas o razonamientos de otros sin citarlos; o emplear material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficos, mapas o datos sin reconocimiento al autor o fuente. Además, entiendo que cualquier uso comercial, reproducción, edición o modificación de estos materiales será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por ello, asumo la responsabilidad por cualquier consecuencia derivada de plagio, si se presentara, y afirmo que este trabajo es original.



Juan Gerardo Vargas Morales

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme esta oportunidad y darme la vida, el discernimiento, la fuerza y sabiduría para tomar las decisiones adecuadas.

A mi **ALMA MATER** por abrirme las puertas y recibirme como un segundo hogar, por todas las enseñanzas y todo lo vivido, tanto académicamente, así como en el ámbito personal, gracias por estos maravillosos años.

A mi madre **ESTHER MORALES FRANCO**, a mi hermana **LIDIA KAREN VARGAS DURAN** por todo el apoyo incondicional que recibí, de manera moral, emocional y económica, por siempre creer en mí y no darse por vencidas en que lo podía lograr, gracias por todo el amor y la fe que me han llevado hasta donde estoy.

A mi padre **FRANCISCO JAVIER VARGAS ALONSO**, aunque las cosas no han sido sencillas una parte de ti me acompañó durante este viaje y estoy agradecido por las enseñanzas, el aprendizaje y el amor brindado.

A mi novia la **L.E.O JESSICA GUADALUPE GARCÍA MALDONADO**, por la paciencia, el amor y el apoyo mostrado en todos los años de mi carrera, por motivarme día con día a seguir y nunca rendirme, gracias por creer en mí y siempre estar para mí cuando lo necesité.

A la **DRA. NADIA LANDERO,** quien fue mi asesora y me dio la oportunidad de realizar este experimento, gracias por brindarme los medios necesarios para poder haber concluido con este compromiso académico.

A la **DRA. CARMEN AYALA,** por toda la ayuda y atención prestada a este proyecto, por estar siempre en buena disposición para atender mis dudas de buena manera y el apoyo constante para que no perdiera el ánimo en poder dar por concluido este proyecto.

A mis mejores amigos de la carrera, **SALVADOR PINEDA CÓRDOBA, MIGUEL ÁNGEL SAMPAYO GASPARIANO Y FATIMA GIL ORTEGA**, gracias por hacer este viaje una de las mejores experiencias de mi vida, gracias por todo el apoyo, los

buenos momentos, por todo lo enseñado y lo compartido, la universidad no hubiera sido la misma sin ustedes.

Al **ING. FELIPE MALACARA RODRÍGUEZ Y SU FAMILIA**, por abrirme las puertas de su casa, darme un lugar en ella y brindarme toda la confianza que me fue brindada y el apoyo incondicional mostrado durante mi estadía en Saltillo, gracias por todo.

A mis **TÍA ROSY Y MI TÍA YOLI,** gracias por cuidar de mí, por alimentarme, por los abrazos cuando más lo necesité, por los gratos momentos y el amor brindado.

A todo el **TEAM MEMBRILLOS,** gracias a todos y cada uno de mis compañeros que formaron este gran equipo de trabajo, que con el tiempo no solo fueron mis compañeros, sino mis amigos, gracias por los tantos buenos momentos, los grandes recuerdos, las risas, las desveladas y las grandes aventuras.

A **TERESA RANGEL CHÁVEZ**, gracias por todo el apoyo incondicional brindado desde el día uno y siempre creer en mí, aun estando en la distancia se sintió el cariño y apoyo.

A mis compañeros de cuarto del módulo #5 **EDGAR MENDOZA, IVAN MEZA Y CRISTIAN VILLASEÑOR,** fue un gusto compartir con ustedes ese módulo durante mi estadía en la Narro, gracias por el compañerismo, las cenas juntos y las buenas anécdotas vividas.

A todos los amigos que me dio la Narro **(Cesar, Emilio, Yohan, Nevy, Naomi, Mota)** gracias por haber formado parte de este viaje y los buenos momentos.

A mi hermanito **Cesar Valencia** gracias por haber compartido tu casa en mi último año de universidad y por haberme apoyado en los días tan duros que tuve en esas fechas y siempre ayudarme en los asuntos de trabajo, échale muchas ganas chaparro yo sé que lo vas a lograr.

A mi amigo **Daniel Mendoza,** por el apoyo brindado en Saltillo en los años que compartimos y más los últimos meses de mi estadía cuando las cosas se pusieron difíciles, gracias por la paciencia y tu amistad.

A mis profesores de la carrera por impartir y compartir su conocimiento conmigo, en especial a la **DRA. LAURA RAQUEL LUNA GARCÍA** por la atención siempre brindada, la paciencia, el cariño y el tiempo que nos dedicaba aun fuera de las aulas y ser un lugar seguro para los estudiantes.

A todos mis compañeros de la universidad que fueron parte de este viaje y de los cuales aprendí diferentes cosas y formaron parte de mi crecimiento y desarrollo académico.

DEDICATORIAS

A MI FAMILIA

Mi mamá Esther Morales Franco, mi hermana Lidia Karen Vargas Duran, mi sobrino Coré Abiram Arciga Vargas, esta tesis es en dedicatoria principalmente por ustedes, por ser el pilar de mi vida, porque no importa la situación siempre creyeron en mí y estuvieron ahí cuando lo necesité, nunca perdieron la fe en que lo iba a lograr y día con día están conmigo y para mí en cada uno de los aspectos de mi vida, yo sé que esperan grandes cosas de mí y sé que lo voy a lograr y cada uno de mis logros siempre será en su nombre los amo mucho.

A MI PAREJA

Para la L.E.O Jessica Guadalupe García Maldonado, quien ha estado a mi lado en los últimos 7 años y a quien le atribuyo también este logro, por el apoyo constante desde el día uno, apaciguando mis dudas y mis nervios, creyendo en mí incluso cuando ni yo creía en mí, tomando mi mano y levantándome en los días que no podía más, siempre siendo un apoyo incondicional lleno de amor, este logro también te pertenece a ti, gracias por acompañarme en este viaje y en mi vida, soy afortunado de tenerte te amo.

A MI FAMILIA Y AMIGOS QUE YA PARTIERON

Dedico este logro a esas personas que siempre me apoyaron desde el día que supieron que me iba a estudiar fuera y que creían en mí, se alegraban por mí y por lo que me esperaba, lamentablemente no pudieron ver que, si lo pude lograr, pero estoy seguro de que estén donde estén se alegraron por mí. Por eso este logro es por y para ellos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS 1
DEDICATORIAS 4
ÍNDICE GENERAL 5
ÍNDICE DE CUADROS 7
ÍNDICE DE FIGURAS 8
RESUMEN 9
ABSTRACT 10
1. INTRODUCCIÓN 11
2. OBJETIVOS 13
2.1. Objetivo general 13
2.2. Objetivos específicos 13
3. HIPÓTESIS 13
4. REVISIÓN DE LITERATURA 14
4.1. Importancia económica del mango en la agricultura tropical en México 14
4.2. Pérdidas postcosecha en mango 14
4.3. Antracnosis del mango causada por *Colletotrichum gloeosporioides* 15
4.3.1. Biología y taxonomía del género *Colletotrichum* 15
4.3.2. Especies de *Colletotrichum* asociadas al mango 16
4.3.3. Síntomas de antracnosis en frutos de mango 17
4.4. Métodos actuales de control de enfermedades postcosecha 17
4.4.1. Tratamientos físicos y sanitarios en postcosecha 18
4.4.2. Uso de fungicidas químicos 19
4.4.3. Necesidad de alternativas sostenibles para el manejo postcosecha 20
4.5. Agua activada por plasma como alternativa antifúngica 20
4.5.1. Producción de agua activada por plasma 21
4.5.2. Especies reactivas de oxígeno y nitrógeno generadas en el agua activada por plasma 21
4.5.3. Mecanismos antifúngicos del agua activada por plasma 22
4.6. Aceite esencial de canela como agente antifúngico 23

4.6.1. Principales compuestos bioactivos: cinamaldehído, eugenol y otros fenilpropanoides 23
4.6.2. Actividad antifúngica del aceite esencial de canela 24
4.6.3. Limitaciones del uso directo de aceites esenciales en postcosecha 25
4.6.4. Nanoencapsulación de aceites esenciales 25
4.7. Perspectivas para el manejo sostenible de antracnosis en mango postcosecha 27
5. MATERIALES Y MÉTODOS 28
5.1. Lugar del experimento 28
5.2. *Colletotrichum gloeosporioides* 28
5.3. Preparación del agua activada por plasma 28
5.4. Síntesis de Nanopartículas poliméricas con aceite esencial de canela .. 29
5.5. Evaluación *in vitro* con Nanoencapsulados con aceites esenciales de canela 30
5.5.1. Evaluación del crecimiento micelial 31
5.6. Ensayo de germinación de esporas con agua activada por plasma 31
5.7. Evaluación *in vivo* en frutos de mango 32
5.7.1. Selección y desinfección de los frutos 32
5.7.2. Preparación de los tratamientos 32
5.7.3. Inoculación de los frutos y condiciones de incubación 33
5.7.4. Variables evaluadas 34
5.8. Análisis estadístico 34
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 35
6.1. Efecto de diferentes condiciones de activación del agua por plasma y nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre la incidencia y el crecimiento de las lesiones causadas por *C. gloeosporioides* en frutos de mango 35
6.2. Efecto de los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* en condiciones *in vitro* 38
6.3. Efecto de la aplicación de agua activada por plasma y de nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre firmeza y grados Brix en frutos de mango inoculados con *C. gloeosporioides* 41
7. CONCLUSIONES 43
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 44
9. ANEXOS 58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de *Colletotrichum*..... 16
Cuadro 2. Tratamientos utilizados para la evaluación *in vitro* con nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC). 31
Cuadro 3. Tratamientos utilizados *in vivo* en frutos de mango con agua activada (AAP) y nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC). 32
Cuadro 4. Incidencia final *in vivo* sometida a 9 tratamientos diferentes en un lapso de 7 días. AAP: Agua activada por plasma, NEC: nanoencapsulados con aceite esencial de canela..... 35
Cuadro 5. Área bajo la curva de severidad de *Colletotrichum gloeosporioides* expuesto a diferentes concentraciones de nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC) y Agua Activada por plasma (AAP). 36
Cuadro 6. Área bajo la curva de crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* expuesto a diferentes concentraciones de nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC). 40
Cuadro 7. Efecto del agua activada por plasma y los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre la firmeza de frutos de mango en postcosecha. 41
Cuadro 8. Efecto del agua activada por plasma y los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el contenido de grados Brix en frutos de mango en postcosecha. 42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del lugar donde se realizó el experimento..... 28
Figura 2. Desarrollo final de lesión e incidencia de los frutos. 36
Figura 3.Crecimiento micelial in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* sometido a diferentes tratamientos durante ocho días. NEC: nanoencapsulados con aceite esencial de canela. Los puntos representan la media de cuatro repeticiones. 39
Figura 4. Crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* ensayo in vitro sometido a diferentes tratamientos de nano encapsulados de aceites esenciales de canela. 39

RESUMEN

El mango *(Mangifera indica)* es uno de los frutales más importantes a nivel nacional e internacional. Las enfermedades presentes durante su ciclo de vida y en postcosecha afectan directamente la producción y calidad, causando una pérdida del 30% hasta el 60% de la cosecha en el territorio mexicano. En el desarrollo del presente trabajo se buscó presentar nuevas alternativas de inhibición del patógeno conocido como *Colletotrichum gloeosporioides* responsable de la antracnosis en el cultivo de mango. Se evaluó el efecto del agua activada por plasma y las nanocápsulas de canela en la prevención de desarrollo de *C. gloeosporioides*. El experimento consto de dos fases: una fase *in vivo* en la cual se establecieron 9 tratamientos y 6 repeticiones, en donde se evaluó incidencia, severidad, grados Brix y firmeza, por su parte en la fase *in vitro* se establecieron 5 tratamientos y 4 repeticiones, en las cuales se evaluó el crecimiento micelial. En la fase *in vitro* la inhibición del crecimiento micelial del patógeno aumentó con la concentración de los nanoencapsulados con aceite esencial de canela, dando como resultado que la concentración a 1500 PPM resultó ser la de mejor inhibición. En la fase *in vivo*, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en la incidencia de antracnosis, aunque el testigo comercial presentó el menor valor numérico. En conclusión, los mejores resultados fueron los obtenidos en la fase *in vitro* fueron los nanoencapsulados con aceite esencial de canela en una concentración de 1500 PPM con una efectividad de 100% en la inhibición del crecimiento micelial, por su lado en la fase de *in vivo* no se presentaron diferencias significativas.

Palabras clave: Mango, *Colletotrichum gloeosporioides,* agua activada por plasma, nanoencapsulados con aceite esencial de canela

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica*) is one of the most important fruit crops nationally and internationally. Diseases occurring during its growth cycle and postharvest stage directly affect production and quality, causing losses of 30% to 60% of the harvest in Mexico. This study aimed to explore new alternatives for inhibiting *Colletotrichum gloeosporioides*, the pathogen responsible for anthracnose in mango crops. The effects of plasma-activated water and cinnamon nanoencapsulates on the prevention of *C. gloeosporioides* development were evaluated. The experiment consisted of two phases: an *in vivo* phase, in which nine treatments and six replicates were established to evaluate disease incidence, severity, soluble solids content (°Brix), and firmness; and an *in vitro* phase, in which five treatments and four replicates were established to evaluate mycelial growth. In the *in vitro* phase, inhibition of the pathogen's mycelial growth increased with the concentration of cinnamon essential oil nanoencapsulates, with the 1500 ppm concentration showing the highest inhibitory effect. In the *in vivo* phase, no significant differences in anthracnose incidence were detected among treatments, although the commercial control exhibited the lowest numerical value. In conclusion, the best results were obtained in the *in vitro* phase, where cinnamon essential oil nanoencapsulates at a concentration of 1500 ppm achieved 100% effectiveness in inhibiting mycelial growth. In contrast, no significant differences were observed among treatments in the *in vivo* phase.

Keywords: Mango, *Colletotrichum gloeosporioides*, plasma activated water, nanoencapsulated cinnamon

1. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica*) es uno de los frutos tropicales de mayor importancia económica y comercial debido a su amplia distribución, valor nutricional y aceptación en los mercados nacionales e internacionales (Pacheco-Jiménez *et al*., 2022). Sin embargo, su naturaleza climatérica y perecedera representa un desafío para la conservación de su calidad, particularmente durante las etapas de almacenamiento, transporte y comercialización, en las que diversos factores pueden favorecer su deterioro (Jeevanantham *et al*., 2024).

Durante la postcosecha, los frutos son susceptibles al deterioro ocasionado por microorganismos, especialmente hongos, cuya proliferación puede afectar la calidad, inocuidad y vida útil de los productos hortofrutícolas (Das *et al*., 2021). Entre las enfermedades que afectan al mango, la antracnosis es considerada una de las principales limitantes fitosanitarias debido a su incidencia tanto en campo como en postcosecha, constituyendo un problema importante para la producción y comercialización del fruto (Dofuor *et al*., 2023). Dentro de las especies asociadas con la antracnosis, *Colletotrichum gloeosporioides* ha sido el hongo más ampliamente reconocido como uno de los principales agentes causales de la enfermedad (Uddin et al., 2022).

El manejo de la antracnosis se ha basado tradicionalmente en la utilización excesiva de fungicidas sintéticos (Noriega-Cantú *et al*., 2024). Sin embargo, la dependencia de estos productos puede favorecer la aparición de problemas relacionados con el desarrollo de resistencia en los patógenos, la contaminación ambiental y la preocupación por posibles residuos químicos en los alimentos (Choudhary *et al*., 2025).

Entre las alternativas de origen natural, los aceites esenciales han recibido atención debido a la actividad antimicrobiana y antifúngica de los compuestos presentes en su composición (Stegmayer *et al*., 2021). En particular, investigaciones recientes

han demostrado que el aceite esencial de canela puede inhibir el crecimiento de *C. gloeosporioides* y reducir la severidad de la antracnosis en frutos de mango (Andrade-Hoyos *et al*., 2025). A pesar de sus propiedades antifúngicas, la aplicación directa de los aceites esenciales presenta algunas limitaciones relacionadas con su volatilidad, baja solubilidad, inestabilidad y susceptibilidad a la degradación (Santiago-Santiago *et al*., 2024). En este contexto, la aplicación de tecnologías de nanoencapsulación representa una alternativa para mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de los compuestos naturales, además de favorecer su liberación controlada y aumentar su eficacia en aplicaciones destinadas a la conservación de frutas y hortalizas (de Souza *et al*., 2025).

Otra tecnología emergente con potencial de aplicación en el manejo postcosecha es el agua activada por plasma, obtenida mediante la interacción del plasma frío con el agua (Song *et al*., 2025). Durante este proceso se generan diferentes especies reactivas de oxígeno y nitrógeno que pueden conferir propiedades antimicrobianas al agua, por lo que esta tecnología ha despertado interés como una alternativa no térmica y con potencial para reducir la dependencia de tratamientos químicos convencionales (Han *et al*., 2023).

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como propósito evaluar el efecto del agua activada por plasma y nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el desarrollo de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango *(Mangifera indica)* durante la postcosecha y el desarrollo *in vitro* con la finalidad de generar información sobre el potencial de estas alternativas como estrategias para el manejo de este patógeno.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del agua activada por plasma y nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el desarrollo de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango y en condiciones *in vitro*.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de diferentes condiciones de activación del agua por plasma y nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre la incidencia y el crecimiento de las lesiones causadas por *C. gloeosporioides* en frutos de mango.
- Determinar el efecto de los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* en condiciones *in vitro*.
- Evaluar el efecto de la aplicación de agua activada por plasma y de nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre la firmeza y grados Brix en frutos de mango inoculados con *C. gloeosporioides*.

3. HIPÓTESIS

El agua activada por plasma, los nanoencapsulados con aceite esencial de canela y su combinación disminuyen el desarrollo de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango, mientras que los nanoencapsulados con aceite esencial de canela inhiben el crecimiento micelial del patógeno en condiciones *in vitro*.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia económica del mango en la agricultura tropical en México

La importancia del mango a nivel nacional e internacional se debe principalmente al consumo del fruto debido a sus propiedades, versatilidad de uso y ese sabor tan característico y dulce que ha abierto las puertas a todo tipo de mercados (Lucas-García et al., 2025).

En México, el cultivo de mango se desarrolla en aproximadamente 23 estados de la República Mexicana, destacando Sinaloa, Guerrero, Nayarit, Chiapas, Oaxaca y Michoacán como las principales entidades productoras, de acuerdo con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), durante 2023 la producción nacional superó los 2.2 millones de toneladas, consolidándose como uno de los frutales de mayor importancia económica en el sector agrícola mexicano, asimismo, el valor de la producción nacional rebasó los 13 mil millones de pesos, reflejando su relevancia para las economías regionales de las zonas tropicales del país (SIAP, 2024). México ocupa el primer lugar mundial en exportaciones de mango, siendo Estados Unidos, Canadá y Japón algunos de sus principales mercados (Martínez et al., 2023). Las condiciones climáticas tropicales y subtropicales presentes en gran parte del territorio nacional favorecen su producción, permitiendo que el país se posicione entre los principales productores y exportadores de mango a nivel mundial, siendo Michoacán el primer estado exportador en el país (Ayala-Garay et al., 2009).

4.2. Pérdidas postcosecha en mango

Los frutos son productos altamente perecederos debido a características como su elevado contenido de agua y sus procesos fisiológicos, entre los que se encuentra la respiración, lo que favorece su deterioro después de la cosecha y puede limitar su vida postcosecha (Ortiz Rodríguez & Águila León, 2021). Las pérdidas postcosecha no solo implican una disminución en la disponibilidad de frutos, sino

que también generan repercusiones económicas al reducir los ingresos de los productores y favorecer el incremento de los precios para los consumidores debido a una menor oferta en el mercado (García Muñoz & Aya Rodríguez, 2024).

Las enfermedades ocasionadas por microorganismos fitopatógenos, particularmente hongos, constituyen una de las principales causas de pérdidas postcosecha en frutos, debido a que su desarrollo puede comprometer la calidad e inocuidad de los productos durante esta etapa (Godana et al., 2023). Entre las principales enfermedades y alteraciones microbianas que afectan al mango en postcosecha se encuentran: la antracnosis *(Colletotrichum gloeosporioides),* la pudrición del pedúnculo *(Diplodia natalensis),* el cancro bacteriano (*Xanthomonas citri pv. mangiferaeindicae),* la fumagina *(Capnodium mangiferae),* el moho negro *(Aspergillus niger)* y la pudrición por *Rhizopus (Rhizopus* sp.*) (Singh et al., 2021).*

4.3. Antracnosis del mango causada por *Colletotrichum gloeosporioides*

La antracnosis del mango se encuentra asociada con diversas especies del género *Colletotrichum*, particularmente con especies pertenecientes al complejo *C. gloeosporioides* (Tovar-Pedraza et al., 2020). Esta enfermedad puede desarrollarse durante el almacenamiento y la comercialización, afectando la vida útil del fruto y generando la necesidad de implementar estrategias de control (Peralta-Ruiz et al., 2023). La antracnosis es una de las principales enfermedades del cultivo de mango, ya que afecta brotes, inflorescencias, hojas tiernas y principalmente frutos, en los que ocasiona manchas oscuras y lesiones necróticas que deterioran su apariencia y calidad comercial, generando pérdidas económicas para los productores (Pérez-Muñoz et al., 2025).

4.3.1. Biología y taxonomía del género *Colletotrichum*

A continuación, se describe la clasificación taxonómica de (*Colletotrichum gloeosporioides)* de acuerdo con (Gautam, 2014).

***Cuadro 1*.** Taxonomía de *Colletotrichum.*

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Fungi
División	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Phyllachorales
Familia	Phyllachoraceae
Género	*Colletotrichum*
Especie	*gloeosporioides*
Nombre científico	*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.
Teleomorfo	*Glomerella cingulata* (Stoneman) Spauld. & H. Schrenk

Desde el punto de vista morfológico, *C. gloeosporioides* presenta un micelio septado e hialino, conidios unicelulares, hialinos y de forma cilíndrica a elipsoidal, así como apresorios melanizados relacionados con la adhesión y penetración del hongo en los tejidos del hospedero (Faria & Inácio, 2023).

4.3.2. Especies de *Colletotrichum* asociadas al mango

El agente causal de la antracnosis pertenece al género *Colletotrichum*, dentro del cual se han identificado diversas especies asociadas con esta enfermedad en mango, entre ellas *C. asianum, C. fructicola, C. siamense, C. tropicale, C. gloeosporioides, C. sloanei* y *C. pedunculi* sp. *nov* (Lin *et al.,* 2023).

Colletotrichum gloeosporioides es un hongo fitopatógeno de distribución cosmopolita, predominante en regiones tropicales y subtropicales, caracterizado por presentar hifas septadas, apresorios melanizados y conidios hialinos de forma predominantemente cilíndrica (Rodríguez-López *et al*., 2009). En aislamientos obtenidos de frutos de mango se ha observado variabilidad morfológica en los

conidios y apresorios, predominando los conidios rectos con extremos redondeados y los apresorios redondeados, lisos o ligeramente lobulados (Silva Neto et al., 2022).

4.3.3. Síntomas de antracnosis en frutos de mango

Las lesiones causadas por la antracnosis pueden presentarse en diferentes órganos del mango, manifestándose como manchas de color café oscuro en brotes jóvenes, lesiones necróticas que pueden ocasionar defoliación en las hojas, lesiones de color café en las flores y manchas circulares, oscuras y de aspecto necrótico en los frutos, las cuales afectan su calidad y apariencia comercial (Huerta-Palacios et al., 2009).

El desarrollo de la antracnosis en mango está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales, principalmente la temperatura y la humedad relativa, las cuales influyen en la severidad de la enfermedad y en la esporulación del patógeno, mientras que etapas como la floración, el cuajado inicial y el desarrollo temprano de los frutos representan periodos críticos para la infección (Monteon Ojeda et al., 2012). La antracnosis puede permanecer en estado quiescente en los frutos de mango sin producir síntomas visibles después de la cosecha y desarrollarse posteriormente durante la maduración, almacenamiento y transporte, favoreciendo el deterioro y reduciendo la vida postcosecha del fruto (B. Liu et al., 2022).

4.4. Métodos actuales de control de enfermedades postcosecha

Actualmente, las estrategias para el control de enfermedades postcosecha en mango comprenden métodos físicos, químicos y biológicos orientados a disminuir el desarrollo de microorganismos fitopatógenos y conservar la calidad de los frutos durante el almacenamiento (Moreno-Hernandez et al., 2024). Para el control postcosecha de la antracnosis en mango se han evaluado diferentes estrategias, entre ellas el uso de microorganismos antagonistas como *Bacillus licheniformis*, tratamientos con cloruro de calcio y etanol, tratamientos hidrotérmicos y fungicidas como azoxystrobin y trifloxystrobin, los cuales han mostrado diferentes niveles de eficacia en la reducción de la severidad de la enfermedad bajo condiciones ambientales y de refrigeración (Gutiérrez Alonso *et al*., 2004).

Ante las restricciones asociadas con el uso de fungicidas sintéticos durante la poscosecha, se han estudiado alternativas como el quitosano y el sorbato de potasio, los cuales han mostrado potencial para inhibir el crecimiento de *Colletotrichum* sp. (Gálvez-Marroquín et al., 2022).

4.4.1. Tratamientos físicos y sanitarios en postcosecha

El ozono se ha utilizado como agente de desinfección postcosecha debido a su elevada capacidad oxidante y antimicrobiana; además, su aplicación en frutas y hortalizas puede inducir respuestas antioxidantes, como el incremento de compuestos fenólicos, que participan en la protección de los tejidos frente al estrés oxidativo generado durante el tratamiento (de Almeida Monaco et al., 2016).

Los tratamientos hidrotérmicos constituyen una alternativa física para el manejo de enfermedades postcosecha en mango, ya que su aplicación puede reducir las infecciones quiescentes de antracnosis; sin embargo, temperaturas elevadas pueden ocasionar alteraciones en características de calidad del fruto, por lo que la temperatura y el tiempo de exposición son factores importantes para su aplicación (de la Cruz Padilla *et al*., 2025).

La combinación de agua caliente a 55 °C durante 5 min y radiación UV-C redujo significativamente la severidad de la antracnosis en mango, retrasó la maduración durante el almacenamiento e incrementó la actividad de enzimas y genes relacionados con los mecanismos de defensa del fruto, lo que evidencia el potencial de estos tratamientos físicos para mejorar la resistencia postcosecha y conservar la calidad del mango (Sripong et al., 2015).

La combinación de tratamientos con agua caliente a 50 y 55 °C con extractos vegetales de *Allium sativum* y *Ruta chalepensis* redujo la intensidad de la antracnosis y mejoró la calidad comercial de los frutos de mango sin afectar significativamente los parámetros de calidad postcosecha evaluados (Worku et al., 2025).

4.4.2. Uso de fungicidas químicos

El uso de algunos fungicidas sintéticos en postcosecha se ha limitado debido al retiro de determinados productos del mercado y al establecimiento de límites más estrictos para sus residuos en los alimentos, situación que ha incrementado el interés por desarrollar alternativas de control con menor impacto ambiental y toxicológico (Romanazzi et al., 2016).

La resistencia a los fungicidas se define como una reducción adquirida y heredable de la sensibilidad de un hongo a un principio activo antifúngico, que permite la supervivencia y multiplicación de individuos resistentes después de aplicaciones que anteriormente resultaban eficaces, favoreciendo su selección y propagación dentro de la población del patógeno (Carmona & Sautua, 2017).

La resistencia a fungicidas también ha sido identificada en poblaciones de *Colletotrichum* asociadas con la antracnosis del mango, observándose aislamientos de *C. gloeosporioides* con resistencia cruzada a benomilo y carbendazim, así como resistencia a mancozeb, lo que puede reducir la eficacia de estos productos para el control de la enfermedad (Kongtragoul et al., 2022).

El uso de fungicidas químicos constituye una de las principales estrategias para el control de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en mango. Diferentes ingredientes activos han demostrado eficacia para reducir el desarrollo de la enfermedad; entre ellos, la combinación de fluopyram + tebuconazole presentó la mayor reducción de la enfermedad en condiciones de campo (Vamshika *et al*., 2023). Asimismo, carbendazim mostró una inhibición completa del crecimiento micelial *in vitro*, mientras que la combinación de carbendazim + mancozeb presentó el mayor control de la enfermedad en condiciones de campo (Verma *et al*., 2023). De manera complementaria, se ha reportado que el manejo químico constituye una estrategia importante para el control de la antracnosis en mango, particularmente en cultivares comerciales como ‘Tommy Atkins’ (Hio *et al*., 2024).

4.4.3. Necesidad de alternativas sostenibles para el manejo postcosecha

Aunque los fungicidas sintéticos continúan siendo utilizados para el control de patógenos postcosecha, las preocupaciones relacionadas con la presencia de residuos, los efectos ambientales y el desarrollo de resistencia han incrementado el interés por estrategias de manejo más sostenibles y con menor dependencia de productos químicos convencionales (Kalkan, 2025).

Ante las limitaciones asociadas con el control químico, se ha optado por estrategias no químicas para el manejo de enfermedades postcosecha en frutos tropicales, entre las que se incluyen el control biológico, los recubrimientos comestibles, los aceites esenciales, los productos botánicos y diferentes tratamientos físicos, los cuales representan alternativas potenciales para reducir la dependencia de fungicidas sintéticos (Sneha et al., 2024).

4.5. Agua activada por plasma como alternativa antifúngica

El plasma frío es un gas parcial o completamente ionizado constituido por electrones, iones, fotones, especies excitadas y partículas neutras, que conforman un medio químicamente activo (Harikrishna et al., 2023). Su generación ocurre mediante el suministro de energía a un gas, provocando la ionización y excitación de sus átomos y moléculas, proceso que puede producirse mediante diferentes fuentes de energía como la térmica, eléctrica o electromagnética (Muñoz & Concha-Meyer, 2022).

El plasma, considerado el cuarto estado de la materia, puede clasificarse de acuerdo con el equilibrio energético de sus partículas en plasma térmico y no térmico, donde el plasma térmico se caracteriza porque los electrones y las partículas pesadas presentan energías similares y temperaturas elevadas, mientras que en el plasma no térmico o frío donde la energía se concentra principalmente en los electrones y las partículas pesadas permanecen a temperaturas relativamente bajas, permitiendo su aplicación sobre materiales sensibles al calor (Sainz García, 2024).

El plasma no térmico puede generarse mediante diferentes tipos de descargas eléctricas, entre las que se encuentran la descarga de barrera dieléctrica (DBD), el plasma jet a presión atmosférica (APPJ), la descarga de corona y el arco deslizante, cuyas características determinan su aplicabilidad en diferentes procesos agrícolas, como el tratamiento de semillas, la activación de líquidos, el control de patógenos y la conservación postcosecha (Yao & Gao, 2026).

4.5.1. Producción de agua activada por plasma

El agua activada por plasma puede producirse mediante diferentes configuraciones de plasma frío atmosférico, entre las que se encuentran la descarga de corona, la descarga de barrera dieléctrica (DBD), el plasma jet, la descarga de barrera dieléctrica superficial (SDBD) y el arco deslizante, las cuales difieren en la disposición de los electrodos, el uso de materiales dieléctricos y el flujo del gas de trabajo, siendo el plasma jet una de las configuraciones más utilizadas para la producción de agua activada por plasma (Montalbetti *et al*., 2025).

La activación del agua mediante plasma modifica parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica y el potencial de óxido-reducción (ORP), observándose generalmente una disminución del pH y un incremento de la conductividad y del ORP tras el tratamiento (Thirumdas et al., 2018). Las características fisicoquímicas y la concentración de especies reactivas en el agua activada por plasma dependen de factores como el tipo de descarga, gas de trabajo, potencia aplicada, tiempo de activación, volumen y composición inicial del agua, así como de la geometría y forma de interacción entre el plasma y el líquido (Rahman et al., 2022).

4.5.2. Especies reactivas de oxígeno y nitrógeno generadas en el agua activada por plasma

El plasma frío genera especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS), responsables de gran parte de su actividad biológica, entre las que se encuentran el oxígeno atómico (O), el radical hidroxilo (•OH), el anión superóxido (O_2•$^-$), el

radical hidroperoxilo (HO_2•), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el ozono (O_3) (Puente-Díaz, 2024). En el agua activada por plasma también se forman especies reactivas de nitrógeno como óxido nítrico (NO•), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y peroxinitrito ($ONOO^-$), cuya generación resulta de reacciones que ocurren en la fase gaseosa, en la interfaz plasma-líquido y posteriormente dentro del medio acuoso (Katsaros et al., 2023).

Las especies generadas presentan diferentes tiempos de vida. Radicales como •OH, O_2•$^-$ y NO• son altamente reactivos y de corta duración, mientras que H_2O_2, NO_2^- y NO_3^- pueden permanecer durante periodos mayores en el medio acuoso. La actividad antimicrobiana del agua activada por plasma depende de la interacción entre estas especies y de las modificaciones fisicoquímicas inducidas en el agua, particularmente el pH y el potencial de óxido-reducción.

4.5.3. Mecanismos antifúngicos del agua activada por plasma

El efecto antifúngico del agua activada por plasma se relaciona con la acumulación excesiva de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, capaces de alterar la integridad de la pared y membrana celular, favorecer la pérdida de proteínas y ácidos nucleicos e interferir con procesos relacionados con la síntesis de quitina y ergosterol, provocando estrés oxidativo y finalmente la muerte celular del hongo (Huang et al., 2026). De manera similar, el tratamiento de esporas de *Aspergillus flavus* con agua activada por plasma disminuyó significativamente el recuento de esporas y su actividad metabólica, observándose que la concentración de especies reactivas secundarias presentes en el AAP desempeñó un papel importante en su actividad antifúngica (Los et al., 2020).

En mango, el tratamiento con plasma frío mediante descarga de barrera dieléctrica disminuyó la actividad de enzimas degradadoras de la pared celular y lacasas asociadas con la patogenicidad de *Colletotrichum asianum*, mientras que la aplicación de AAP obtenida mediante este sistema en combinación con empaque en atmósfera modificada redujo el desarrollo de la antracnosis y prolongó la vida útil del fruto hasta ocho días (Wu et al., 2023).

La aplicación de AAP sobre frutos de kumquat inhibió significativamente la viabilidad de *Penicillium italicum*, redujo la pudrición y la contaminación fúngica durante el almacenamiento y permitió conservar la firmeza de los frutos sin producir cambios significativos en varios parámetros de calidad evaluados (Guo et al., 2021).

4.6. Aceite esencial de canela como agente antifúngico

A la mezcla de sustancias naturales derivadas de partes de la planta como flores, hojas, frutos o maderas se le conoce como extractos botánicos (Khan et al., 2023). Los aceites esenciales contienen metabolitos secundarios que pueden presentar diversas actividades biológicas, incluyendo propiedades antimicrobianas, antioxidantes y alelopáticas (Magri et al., 2023).

La canela pertenece al género *Cinnamomum* de la familia Lauraceae, dentro del cual especies como *Cinnamomum verum* y *Cinnamomum cassia* son ampliamente utilizadas para la obtención de aceites esenciales a partir de diferentes partes de la planta, cuya composición química puede variar de acuerdo con la especie, el origen geográfico, el órgano vegetal utilizado y las condiciones de extracción (Guo et al., 2024).

4.6.1. Principales compuestos bioactivos: cinamaldehído, eugenol y otros fenilpropanoides

Entre los principales compuestos bioactivos presentes en el aceite esencial de *Cinnamomum verum* se encuentran el cinamaldehído, eugenol, β-cariofileno, acetato de cinamilo y ácido cinámico, compuestos asociados con diversas actividades biológicas del aceite (Singh et al., 2021). El cinamaldehído y el eugenol pertenecen al grupo de los fenilpropanoides, caracterizados por presentar un anillo aromático unido a una cadena de tres carbonos, donde el cinamaldehído posee un grupo aldehído y el eugenol presenta grupos hidroxilo y metoxilo en su estructura (Sharma et al., 2016).

La proporción de estos compuestos varía de acuerdo con la especie y la parte vegetal utilizada, observándose en aceites de hojas y flores de *C. verum* la

presencia de cinamaldehído, eugenol, linalool y acetato de cinamilo en diferentes concentraciones (Narayanankutty et al., 2021). En *Cinnamomum cassia*, los fenilpropanoides constituyen una fracción importante de los compuestos bioactivos del aceite esencial de corteza, destacando el cinamaldehído como uno de sus componentes predominantes (S. Liu et al., 2021).

4.6.2. Actividad antifúngica del aceite esencial de canela

El aceite esencial de canela mostró una fuerte actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* aislado de kiwi, inhibiendo completamente el crecimiento micelial a 0.200 µL/mL y la germinación de esporas a 0.175 µL/mL, mientras que la concentración mínima inhibitoria y la concentración mínima fungicida fueron de 0.200 µL/mL, evidenciando actividad tanto fungistática como fungicida (He et al., 2018). Los aceites esenciales de hoja y corteza de canela mostraron una elevada actividad antifúngica contra *Colletotrichum gloeosporioides*, con concentraciones mínimas fungicidas de 0.4 y 0.8 µL/mL, respectivamente, mientras que su aplicación individual o en combinación con aceite esencial de lemongrass redujo eficazmente la antracnosis en frutos de mango sin afectar de manera significativa su calidad postcosecha (Duong *et al*., 2024).

En mango postcosecha, el aceite esencial de canela presentó la mayor actividad *in vitro* entre seis aceites evaluados contra *C. acutatum*, con una concentración mínima inhibitoria de 1.6 µL/mL, aunque su aplicación directa a dicha concentración ocasionó daños en la cáscara de los frutos, evidenciando tanto su elevada actividad antifúngica como la necesidad de optimizar su forma de aplicación (Danh et al., 2021).

La actividad antifúngica del aceite de canela también ha sido observada frente a otros hongos fitopatógenos, ya que el aceite de corteza de *Cinnamomum cassia*, el cinamaldehído, el eugenol y diversos derivados de estos compuestos inhibieron el crecimiento de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*, mostrando que la estructura química de los fenilpropanoides influye en su potencia fungicida (Xie et al., 2017). De manera general, el aceite esencial de canela presenta actividad

antifúngica frente a géneros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Candida*, atribuida principalmente a compuestos como el cinamaldehído y el eugenol, capaces de alterar estructuras y procesos celulares esenciales del hongo (Ranga & Lohani, 2026).

4.6.3. Limitaciones del uso directo de aceites esenciales en postcosecha

El uso directo de aceites esenciales en postcosecha presenta limitaciones relacionadas con su elevada volatilidad, baja estabilidad frente a factores como luz, oxígeno y temperatura, escasa solubilidad en agua y naturaleza hidrofóbica, características que pueden favorecer la pérdida de compuestos activos y dificultar su aplicación uniforme sobre la superficie de los frutos (Yammine et al., 2024). Además, la aplicación de aceites esenciales a concentraciones elevadas puede ocasionar efectos fitotóxicos y alterar atributos de calidad de los frutos, como color, aroma y sabor, por lo que su concentración y forma de aplicación deben optimizarse para evitar efectos negativos sobre la aceptabilidad del producto (El Khetabi et al., 2022). Estas limitaciones han impulsado el desarrollo de sistemas de encapsulación y liberación controlada capaces de proteger los compuestos volátiles, mejorar su dispersión y estabilidad y reducir su impacto sensorial durante la conservación de frutas y hortalizas (Tsitlakidou et al., 2023).

4.6.4. Nanoencapsulación de aceites esenciales

La nanoencapsulación consiste en incorporar compuestos bioactivos dentro de matrices o nanotransportadores que actúan como una barrera frente al ambiente externo, permitiendo proteger los aceites esenciales de procesos de degradación, mejorar su estabilidad y favorecer una liberación controlada de sus componentes activos (Albuquerque et al., 2022). Los materiales empleados para la nanoencapsulación de aceites esenciales incluyen principalmente biopolímeros de grado alimentario, entre ellos proteínas de suero, caseínas, zeína y gelatina, así como polisacáridos como almidón, quitosano, ciclodextrinas, pectina y alginato, los

cuales pueden utilizarse para formar nanocápsulas, nanoesferas y otros sistemas de transporte de compuestos bioactivos (Liao et al., 2021).

La nanoencapsulación puede mejorar la estabilidad fisicoquímica, solubilidad y dispersión de los aceites esenciales, además de permitir una liberación controlada que prolonga la disponibilidad de sus compuestos bioactivos y disminuye su pérdida por evaporación o degradación, contribuyendo a conservar o incrementar su actividad biológica (Sheikh et al., 2024).

Las nanocápsulas de ácido poliláctico cargadas con aceite esencial de zacate limón mostraron actividad antifúngica frente a *Colletotrichum acutatum* y *C. gloeosporioides*, mientras que en manzanas durante la postcosecha el tratamiento con el aceite esencial nanoencapsulado produjo lesiones de pudrición amarga aproximadamente tres veces menores que las observadas con el aceite no encapsulado (Antonioli et al., 2020). De manera similar, la nanoencapsulación de aceite esencial de orégano en nanocápsulas de Eudragit® S100 incrementó su actividad antifúngica frente a diversos fitopatógenos y redujo las lesiones de antracnosis causadas por *C. gloeosporioides* en manzanas durante 21 días de almacenamiento (Molon et al., 2026).

El aceite esencial de canela también presenta potencial para su aplicación en sistemas nanoencapsulados destinados a la conservación postcosecha, ya que su incorporación en nanopartículas de quitosano incrementó la actividad antifúngica frente a *Phytophthora drechsleri* y mejoró la calidad microbiológica y fisicoquímica de frutos de pepino almacenados en frío, prolongando su vida útil hasta 21 días (Mohammadi et al., 2015). Asimismo, la nanoencapsulación de aceite esencial de corteza de canela mediante proteína concentrada de suero y su incorporación en un recubrimiento de cera grado alimentario para manzana retrasó la liberación del aceite, incrementando su vida media en aproximadamente 61 h y aumentando la inhibición de *Aspergillus flavus* en comparación con el recubrimiento sin aceite nanoencapsulado (Arcot et al., 2024).

4.7. Perspectivas para el manejo sostenible de antracnosis en mango postcosecha

El desarrollo de tecnologías no térmicas para la conservación postcosecha representa una alternativa de interés científico y tecnológico frente a los métodos convencionales de desinfección, entre las que se encuentra el agua activada por plasma, capaz de contribuir a la inactivación de microorganismos, al mantenimiento de la calidad y a la prolongación de la vida útil de frutas y hortalizas (Malahlela et al., 2024).

El desarrollo de alternativas sostenibles para el manejo de la antracnosis ha impulsado el estudio de estrategias como antimicrobianos naturales, barreras físicas y agentes de control biológico, las cuales han mostrado capacidad para reducir la incidencia y severidad de la enfermedad y representan opciones para disminuir la dependencia de fungicidas sintéticos en frutos tropicales (Fernandes et al., 2024).

La nanoencapsulación de compuestos antifúngicos de origen vegetal representa una estrategia prometedora para el manejo postcosecha, debido a que puede mejorar su estabilidad, biodisponibilidad y liberación controlada, favoreciendo su aplicación como alternativa sostenible frente a los fungicidas sintéticos (Vakili-Ghartavol & Arouiee, 2025).

El agua activada por plasma y los compuestos antifúngicos de origen vegetal actúan mediante mecanismos diferentes. Mientras que la actividad del agua activada por plasma está asociada principalmente con especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y con cambios fisicoquímicos del medio, los compuestos presentes en el aceite esencial de canela pueden afectar la integridad de la membrana y otros procesos celulares del hongo. La nanoencapsulación permite proteger estos compuestos y controlar su liberación. Por ello, la evaluación conjunta de ambas estrategias permite determinar si su aplicación combinada puede contribuir al manejo postcosecha de la antracnosis.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Lugar del experimento

El experimento se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en la ciudad de Saltillo Coahuila, con dirección Calzada Antonio Narro #1923 Col. Buena Vista Cp. 25315. 1,754 m.s.n.m, HR: 64%, pp. 490 mm.

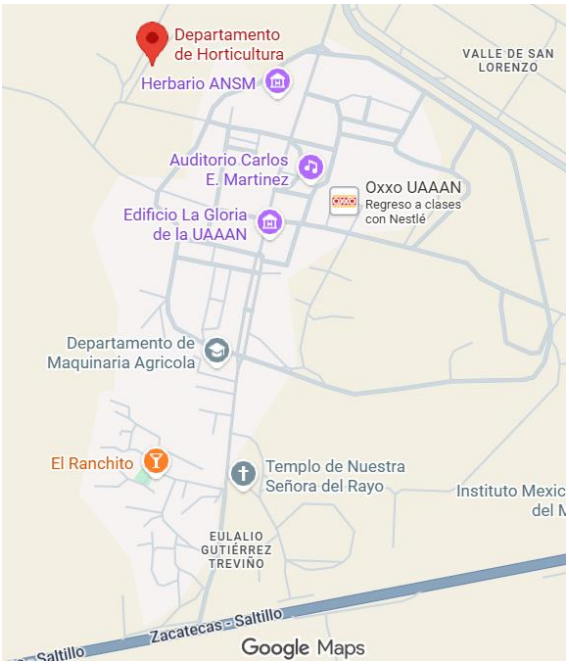


Figura 1. Mapa de localización del lugar donde se realizó el experimento.

5.2. *Colletotrichum gloeosporioides*

El patógeno *Colletotrichum gloeosporioides* fue proporcionado por El Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

5.3. Preparación del agua activada por plasma

El agua activada por plasma (AAP) se preparó utilizando un sistema de chorro de plasma a presión atmosférica (atmospheric pressure plasma jet, APPJ). Para cada experimento, en cada lote se trató un volumen de 1 L de agua purificada comercial (Epura®) contenida en un reactor de vidrio. La descarga se generó empleando aire como gas portador a un flujo constante de 20.0 L/min, regulado mediante un flujómetro. La boquilla del generador de plasma se colocó en configuración sumergida a una profundidad fija de 10 mm por debajo del menisco del líquido para maximizar la disolución y transferencia de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (RONS). Los tratamientos se realizaron durante un tiempo constante de 15 min, variando la potencia aplicada a 100, 150 y 200 W. La descarga se generó mediante una fuente de alto voltaje de corriente alterna, operada a una frecuencia de 65 kHz y con una corriente en la fuente de entrada de 2.5 A. Después del tratamiento, el pH del agua disminuyó hasta valores de 3.4, 3.2 y 3.1 para las potencias de 100, 150 y 200 W, respectivamente. El material fue proporcionado por Departamento de Química Macromolecular y Nanomateriales de El Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Cuando se requirió un volumen de 2 L para los ensayos *in vivo*, el agua activada se preparó en dos lotes independientes de 1 L bajo las mismas condiciones de tratamiento.

5.4. Síntesis de Nanopartículas poliméricas con aceite esencial de canela

En esta metodología se utilizan monómeros como metacrilato de metilo (MMA, 98%) y ácido metacrílico (MAA, 99%); dos surfactantes iónicos, un iniciador térmico y el aceite esencial de canela. Los monómeros son purificados por medio de una columna empacada con resina removedora de inhibidores, el resto de los reactivos se utilizan tal cual se reciben del proveedor (Merc), y el aceite de HERSOL, se utiliza agua desionizada (0.055 µS/cm) obtenida de un equipo mili-Q. en todos los procesos.

Las nanoparticulas poliméricas se obtienen por el método de polimerización (SHP) en condiciones de avidez de monómero. Este sistema consiste en un reactor de vidrio enchaquetado de 100 mL con tapa, donde se prepara una solución micelar

compuesta por dos surfactantes, iniciador y agua desionizada, la cual es desgasificada por una corriente continua de argón por un periodo aproximado de 60 minutos, tiene un sistema de reflujo el cual se mantiene a baja temperatura durante toda la reacción.

En una segunda fase donde se eleva la temperatura del reactor a 70 °C se agregan los monómeros y el aceite esencial de canela con una bomba de dosificación y se mantiene en agitación mecánica por un tiempo aproximado de 7hrs. Al finalizar esta etapa bien la post adición, la cual consiste en dejar reaccionar el monómero para obtener una mayor conversión de un tiempo de 1hr.

Metologia basada en la solicitud de patente MX/a/2014/015574, “Método para preparar nanopartículas ultrapequeñas de copolímeros acrílicos cargadas con principios activos de uso en medicina y nutracéutica”

Se recolecta el látex en un frasco de vidrio y se guarda a temperatura ambiente.

Los nanoencapsulados con aceite esencial de canela fueron proporcionados por el departamento de Procesos de polimerización del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).

5.5. Evaluación *in vitro* con Nanoencapsulados con aceites esenciales de canela

La evaluación *in vitro* consistió en evaluar el crecimiento micelial del patógeno en un medio de cultivo a base de Agar Papa Dextrosa (PDA) este proceso se llevó a cabo con la preparación del 100 ml de agar, el mismo se preparó una dosis de 39 gramos por cada 1 litro, con agua destilada a temperatura ambiente, mediante la técnica de medio envenenado con los nanoencapsulados con aceite esencial de canela a 500, 1000, 1500 PPM, además de un testigo comercial (Robust: cuyo ingrediente activo es el benomilo), después de la preparación del agar y la mezcla de los nanoencapsulados y el fungicida en sus respectivas combinaciones, se

procedió a verter en cajas Petri y esperar a que la mezcla gelificara. Ya con el medio de cultivo envenenado preparado, se procedió a cortar muestras de 1 cm de diámetro del patógeno con un sacabocados, posteriormente se introdujo en el medio de cultivo situando la muestra del patógeno en el centro para poder evaluar su crecimiento, cabe mencionar que la inoculación se realizó en una cámara de flujo laminar, con el área desinfectada adecuadamente y con el uso de mecheros para evitar la contaminación cruzada. A partir de la inoculación se dejaron pasar 24 horas para comenzar con la medición del crecimiento micelial. En el cuadro 2 se presenta la descripción de los tratamientos. El diseño experimental fue un modelo de Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 tratamientos y 4 repeticiones, siendo la unidad experimental la caja Petri.

***Cuadro 2*.** Tratamientos utilizados para la evaluación *in vitro* con nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC).

TRATAMIENTOS
Tratamiento 1: testigo
Tratamiento 2: testigo comercial
Tratamiento 3: NEC a 500 PPM
Tratamiento 4: NEC a 1000 PPM
Tratamiento 5: NEC a 1500 PPM

5.5.1. Evaluación del crecimiento micelial

La evaluación del crecimiento micelial se llevó a cabo mediante la medición diaria, con la ayuda de un vernier electrónico, midiendo el área de crecimiento, para obtener un promedio. Estas mediciones se realizaron durante ocho días.

5.6. Ensayo de germinación de esporas con agua activada por plasma

Para poder contabilizar el porcentaje de germinación de esporas en agua activada por plasma, primero se hizo un levantamiento de esporas, para después introducirlas en el agua activada por plasma se dejaron reposar por 4 horas y así consecutivamente cada 4 horas realizar el conteo de germinación de esporas, el conteo de esporas se realizaría mediante una cámara de Neubauer modelo 717810

de la marca alemana Brand, sin embargo debido al tamaño y la poca transparencia de las esporas estas no pudieron ser contabilizadas sin embargo después de 16 horas de observación no se encontró ninguna espora germinada en agua activada por plasma.

5.7. Evaluación *in vivo* en frutos de mango

Para el ensayo *in vivo* se utilizaron frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo, los cuales fueron sometidos a nueve tratamientos, descritos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos utilizados *in vivo* en frutos de mango con agua activada (AAP) y nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC).

TRATAMIENTOS
Tratamiento 1: testigo
Tratamiento 2: testigo comercial (benomilo)
Tratamiento 3: AAP potencia 1 (100 W)
Tratamiento 4: AAP potencia 2 (150 W)
Tratamiento 5: AAP potencia 3 (200 W)
Tratamiento 6: NEC 500 PPM
Tratamiento 7: NEC 1000 PPM
Tratamiento 8: NEC 1500 PPM
Tratamiento 9: AAP potencia 2 (150 W) + NEC. 1000 PPM

5.7.1. Selección y desinfección de los frutos

Los frutos seleccionados para el experimento estuvieron en maduración adecuada, no teniendo o presentando lesiones o magulladuras que pudieran afectar su consistencia o apariencia, debían estar libres de plagas o enfermedades. La desinfección se llevó a cabo mediante un lavado previo con una solución de hipoclorito de sodio al 3 %.

5.7.2. Preparación de los tratamientos

En un recipiente se agregaron dos litros de agua que fueron mezclados con los distintos tratamientos a evaluar, en caso de testigo comercial se realizó la mezcla

de dos litros de agua estéril más 2 gr de fungicida (benomilo), en los tratamientos que incluían el agua activada por plasma solo se usó esta misma en un volumen de dos litros, en los tratamientos que involucraban los nanoencapsulados con aceite esencial de canela se utilizó la mezcla de nanoencapsulados con aceite esencial de canela más agua estéril, esta mezcla tenía que dar como total dos litros y la concentración deseada de las PPM de los nanoencapsulados por consiguiente estas fueron las cantidades utilizadas para lograr el volumen deseado: Concentración 500 PPM de nanoencapsulados con aceite esencial de canela, 1990 ml de agua estéril más 10ml de nanoencapsulados con aceite esencial de canela. Concentración a 1000 PPM de nanoencapsulados con aceite esencial de canela 1980 ml de agua estéril más 20 ml de nanoencapsulados con aceite esencial de canela. Concentración de 1500 PPM de nanoencapsulados con aceite esencial de canela, 1970 ml de agua estéril más 30 ml de nanoencapsulados con aceite esencial de canela. Y para el último de los tratamientos se utilizó en volumen de agua activada por plasma 1980 ml más 20 ml de nanoencapsulados con aceite esencial de canela. El diseño experimental utilizado fue Completamente al Azar con 9 tratamientos y 6 repeticiones; la unidad experimental utilizada fue el fruto de mango.

5.7.3. Inoculación de los frutos y condiciones de incubación

Para cada tratamiento se utilizó un recipiente con volumen mayor a 2 litros para que tuviera espacio suficiente para poder realizar la inmersión del fruto. Después de la rápida inmersión de 5 segundos, se llevó a cabo la inoculación del patógeno en los frutos tratados. La inoculación se llevó a cabo mediante la realización de dos incisiones en la parte del exocarpio del fruto con un bisturí, dejando expuesta una parte del mesocarpio. Se inoculó el patógeno previamente cortado con un sacabocados. La incubación se llevó a cabo en una cámara húmeda, que constó de un recipiente en el cual se colocó el fruto sobre una toalla de papel humedecida, dentro de una bolsa plástica, identificada con el tratamiento y la repetición, cerrada para poder propiciar condiciones de temperatura y humedad.

5.7.4. Variables evaluadas

- Incidencia de la enfermedad: Se realizó la inoculación en dos incisiones por fruto y, de forma visual, se determinó el porcentaje de incidencia por fruto, siendo 2 incisiones infectadas el 100%.
- Crecimiento de las lesiones: El fruto se dejó en reposo por 24 horas. Después, se procedió a tomar las primeras medidas del crecimiento de las lesiones con la ayuda de una regla. Se tomaron los datos durante los siguientes 7 días, tomando la medida a la misma hora.
- Firmeza del fruto: Con la ayuda de un penetrómetro de frutos se tomaron dos medidas de la dureza del fruto, cada medida fue tomada de cada lado.
- Grados Brix en el fruto: Después de haber realizado la perforación para la medida de la dureza, se aprovechó la incisión para obtener una gota del jugo de la fruta y con la ayuda de un refractómetro RHB-32ATC de la marca ATC se tomó la medida de los grados Brix.

5.8. Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar. Una vez cumplidos los supuestos de normalidad y homogeneidad, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de medias de LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat versión 2020.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Efecto de diferentes condiciones de activación del agua por plasma y nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre la incidencia y el crecimiento de las lesiones causadas por *C. gloeosporioides* en frutos de mango

El agua activada por plasma (AAP) y los nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC) no presentaron diferencias significativas sobre la inhibición de la incidencia en la incisión causada por *C. gloeosporioides*. La incidencia osciló entre el 66.67% y el 100% por lo que el menor porcentaje observado con el tratamiento comercial representa una diferencia numérica que no demuestra superioridad para esta variable.

Cuadro 4. Incidencia final *in vivo* sometida a 9 tratamientos diferentes en un lapso de 7 días. AAP: Agua activada por plasma, NEC: nanoencapsulados con aceite esencial de canela.

Tratamiento	Incidencia %
Testigo Absoluto	83.33a
Testigo Comercial	66.67a
AAP 100W	100a
AAP 150W	100a
AAP 200W	83.33a
NEC 500 PPM	100a
NEC 1000 PPM	83.33a
NEC 1500 PPM	100a
AAP 200W + NEC 1000 PPM	83.33a

En la Figura 2 se observa el aspecto final de las lesiones en los frutos de mango después de siete días de evaluación del ensayo *in vivo*, bajo los diferentes tratamientos.

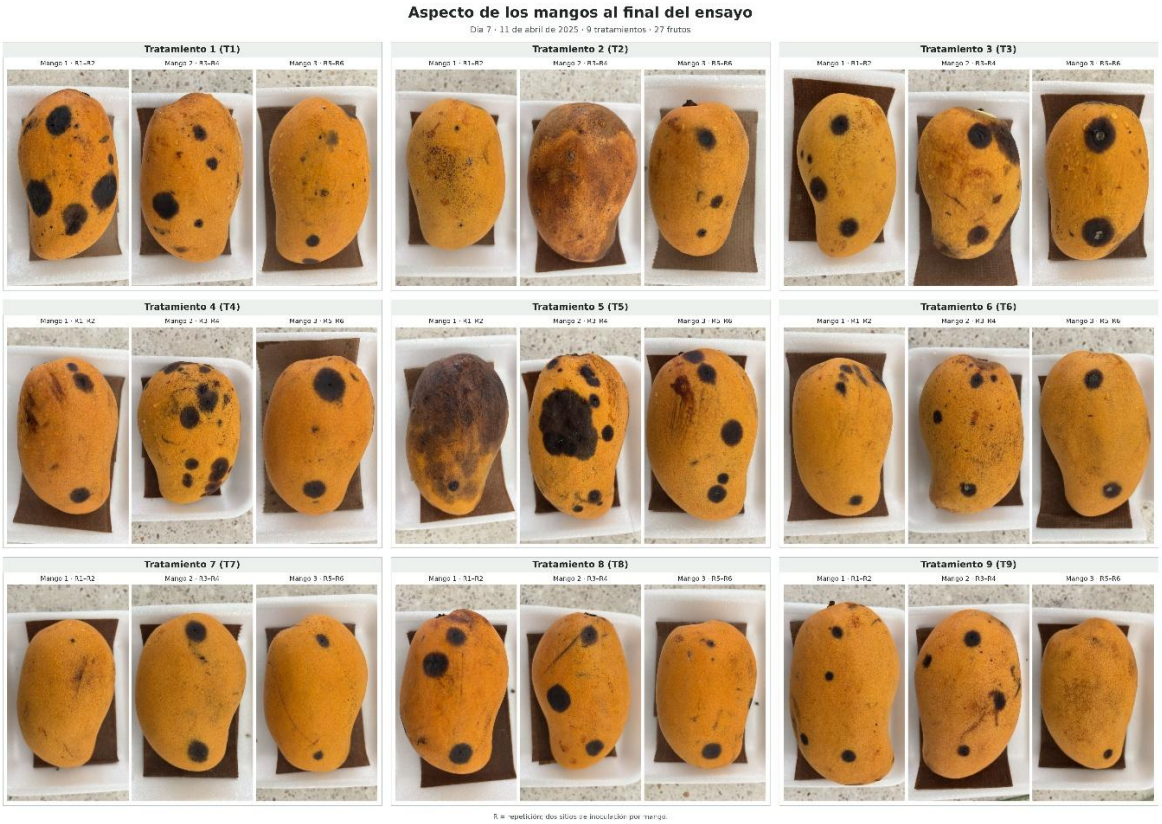


Figura 2. Desarrollo final de lesión e incidencia de los frutos.

En el cuadro 5 se muestra el efecto del % de inhibición acumulado y el área bajo la curva, la cual presentó una disminución menor en el tratamiento con el testigo comercial, que alcanzó 69.55% de inhibición. Los valores corresponden a la media ± desviación estándar de las repeticiones.

Cuadro 5. Área bajo la curva de severidad de *Colletotrichum gloeosporioides* expuesto a diferentes concentraciones de nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC) y Agua Activada por plasma (AAP).

Tratamientos	**Área bajo la curva (cm*día)**	**Inhibición del crecimiento acumulado (%)**
Testigo Absoluto	2.43 ± 1.23 cd	0.00
Testigo Comercial	0.74 ± 1.09 d	69.55
AAP 100W	5.57 ± 2.02 a	- 129.22
AAP 150W	4.71 ± 1.26 ab	−93.83
AAP 200W	3.50 ± 1.81 bc	−44.03
NEC 500 PPM	3.60 ± 1.06 bc	−48.15

NEC 1000 PPM	2.44 ± 2.06 cd	−0.41
NEC 1500 PPM	3.86 ± 1.67 abc	−58.85
AAP 150W + NEC 1000 PPM	2.63 ± 1.32 c	−8.23

Dentro de los tratamientos con AAP se observó una disminución numérica del área bajo la curva conforme aumentó la potencia de activación de 100 a 200 W. Este comportamiento coincidió con una mayor acidificación del agua, cuyo pH disminuyó de 3.4 a 3.1; sin embargo, estos resultados no permiten atribuir el efecto exclusivamente al pH, ya que no se cuantificó individualmente la contribución de las especies reactivas presentes en el agua.

En el presente ensayo, los tratamientos con agua activada por plasma no redujeron significativamente la incidencia ni la severidad de antracnosis respecto al testigo absoluto, respuesta que podría estar relacionada con las condiciones de aplicación, particularmente con el breve tiempo de inmersión de los frutos, considerando que Siddique *et al*. (2021) observaron que la inhibición de la germinación de conidios de *Colletotrichum alienum* dependió del tiempo de contacto con el agua activada, aunque esta comparación debe interpretarse con cautela porque su investigación se realizó en condiciones *in vitro*. También debe considerarse la secuencia de aplicación utilizada en el ensayo. Los frutos fueron tratados antes de realizar las heridas para la inoculación, por lo que el patógeno se colocó posteriormente en contacto directo con tejido interno expuesto. Esta condición pudo disminuir la influencia de los tratamientos aplicados sobre la superficie del fruto y contribuir a las diferencias observadas entre los resultados *in vitro* e *in vivo.*

Tamanna et al. (2026) reportaron que el tratamiento con plasma de aire en agua redujo la incidencia de antracnosis en mango Fazlee de 89 % a 22 %, tras 10 minutos de activación con los frutos sumergidos y 30 minutos adicionales de contacto. Asimismo, Ferreira Barros et al. (2025) observaron menor severidad de antracnosis causada por *Colletotrichum lindemuthianum* en frijol mediante canela nanoencapsulada en zeína a 1.5 mg/mL. Ambos estudios respaldan el potencial de

estos tratamientos, aunque sus condiciones de aplicación y variables evaluadas difieren del presente ensayo.

Otro factor que puede modificar la actividad antifúngica es el tiempo transcurrido entre la preparación y la aplicación del agua activada por plasma, ya que Yao *et al*. (2023) encontraron una mayor actividad fungicida contra *Aspergillus flavus* al utilizarla recién preparada y una disminución de su eficacia conforme aumentó el almacenamiento, sin que sea posible atribuir a este factor la respuesta del presente ensayo, debido a que su influencia no fue evaluada.

Los resultados también contrastan con lo reportado por Phan *et al*. (2019), quienes observaron una disminución de la severidad de antracnosis en mango mediante plasma no térmico por descarga de arco deslizante, con tiempos de tratamiento de cinco a siete minutos, aunque las diferencias en la modalidad de aplicación impiden considerar ambos tratamientos como equivalentes y atribuir la distinta respuesta únicamente al tiempo de exposición.

6.2. Efecto de los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* en condiciones *in vitro*

Los nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC) presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.001$) en la inhibición del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* en comparación con el testigo. Se observó que la inhibición mostró una respuesta dependiente del tiempo de exposición en el medio envenenado (Figura 3). El testigo creció hasta los 7.23 cm al final del ensayo, en comparación con NEC a 500 PPM, que creció 3.55 cm, y el testigo comercial creció 1.34 cm, siendo los NEC a 1000 y 1500 PPM los más efectivos en la inhibición del crecimiento.

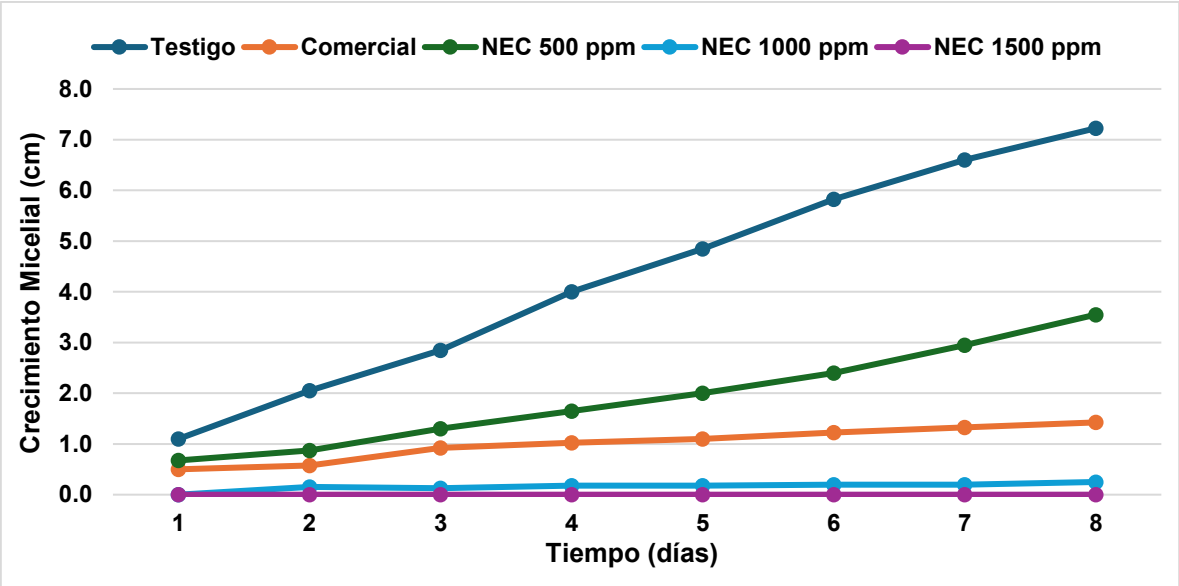


Figura 3.*Crecimiento micelial in vitro de Colletotrichum gloeosporioides sometido a diferentes tratamientos durante ocho días. NEC: nanoencapsulados con aceite esencial de canela. Los puntos representan la media de cuatro repeticiones.*

En la figura 4 podemos apreciar el crecimiento micelial de C. gloeosporioides en condiciones in vitro después de ocho días, bajo diferentes condiciones de tratamientos.



Figura 4. *Crecimiento micelial de C. gloeosporioides ensayo in vitro sometido a diferentes tratamientos de nano encapsulados de aceites esenciales de canela.*

En el cuadro 6 se muestra el efecto del % de inhibición acumulado y el área bajo la curva, la cual fue significativamente menor en los tratamientos con NEC a 1000 y 1500 PPM, que alcanzaron el 96 y 100 % de inhibición, respectivamente y siendo estadísticamente iguales al efecto que tiene el testigo comercial (76 %).

Cuadro 6. Área bajo la curva de crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* expuesto a diferentes concentraciones de nanoencapsulados con aceite esencial de canela (NEC).

Tratamiento	Área bajo la curva (cm*día)	Inhibición del crecimiento acumulado (%)
Testigo	30.34 ± 2.60	0.00 a
Testigo comercial	7.14 ± 3.40	76.47 bc
NEC 500 PPM	13.29 ± 3.06	56.20 b
NEC 1000 PPM	1.15 ± 0.67	96.21 **c**
NEC 1500 PPM	0.00 ± 0.00	100.00 **c**

Los valores corresponden a la media ± desviación estándar de cuatro repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA y Fisher LSD, α = 0.05). El porcentaje de inhibición acumulada se calculó con respecto al testigo.

Los NEC contienen compuestos bioactivos, principalmente el cinamaldehído y el eugenol, que tienen un efecto antifúngico en ciertos microorganismos, por su acción en el equilibrio redox y su efecto al alterar la composición de la pared celular (*Xie et al*., 2017). Los nanoencapsulados son una alternativa viable para contener los compuestos bioactivos con acción antifúngica, permitiendo una exposición más precisa y controlada contra el agente patógeno (Pinto *et al*., 2022). Las concentraciones a 1000 y 1500 PPM presentaron una inhibición comparable con el testigo comercial. Esto coincide con lo reportado por Landero *et al*. (2013), donde los extractos de canela también fueron altamente efectivos, mostrando 100% de inhibición del crecimiento micelial, de la germinación de esporas y de la esporulación fúngica en concentraciones de 0,0050%, 0,0100% y 0,0150%.

6.3. Efecto de la aplicación de agua activada por plasma y de nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre firmeza y grados Brix en frutos de mango inoculados con *C. gloeosporioides*

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la firmeza de los frutos, con el mayor promedio en el tratamiento de AAP + NEC 1000 PPM con un valor de 1.00 kg, el cual fue significativamente superior al resto de los tratamientos según la prueba LSD de Fisher (α = 0.05), mientras que estos últimos presentaron valores entre 0.00 y 0.47 kg, sin diferencias significativas entre sí (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del agua activada por plasma y los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre la firmeza de frutos de mango en postcosecha.

Tratamiento	Firmeza (kg)
Testigo Absoluto	0.22 ± 0.189b
Testigo Comercial	0.22 ± 0.189b
AAP 100 W	0.000 ± 0.000b
AAP 150 W	0.27 ± 0.029b
AAP 200 W	0.10 ± 0.173b
NEC 500 PPM	0.32 ± 0.548b
NEC 1000 PPM	0.000 ± 0.000b
NEC 1500 PPM	0.47 ± 0.569b
AAP 150 W + NEC 1000 PPM	1.000 ± 0.000a

Los valores corresponden a la media ± desviación estándar de las repeticiones.

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre los tratamientos para el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de mango (p = 0.2786), cuyas medias oscilaron entre 14.00 y 18.33 grados Brix bajo las condiciones del ensayo *(Cuadro 8).*

Cuadro 8. Efecto del agua activada por plasma y los nanoencapsulados con aceite esencial de canela sobre el contenido de grados Brix en frutos de mango en postcosecha.

Tratamiento	Grados Brix
Testigo absoluto	17.00 ± 1.00ab
Testigo comercial	18.33 ± 2.52a
AAP 100 W	14.00 ± 1.73b
AAP 150 W	15.33 ± 2.52ab
AAP 200 W	15.67 ± 3.21ab
NEC 500 PPM	17.00 ± 1.00ab
NEC 1000 PPM	15.33 ± 2.08ab
NEC 1500 PPM	16.33 ± 1.15ab
AAP 150 W + NEC 1000 PPM	15.00 ± 0.00b

Los valores corresponden a la media ± desviación estándar de las repeticiones.

En el presente ensayo, el tratamiento con agua activada por plasma en combinación con nanoencapsulados con aceite esencial de canela presentó una firmeza significativamente mayor que los demás tratamientos, incluidos los testigos, resultado que concuerda parcialmente con lo reportado por Song *et al*. (2025), quienes observaron que la aplicación de agua activada por plasma retrasó la pérdida de firmeza en mango cortado, y con Yin *et al*. (2019), quienes encontraron una mayor conservación de la firmeza en mangos tratados con recubrimientos de quitosano y alginato enriquecidos con microcápsulas de aceite esencial de canela.

Es relevante señalar que la mayor firmeza observada con el tratamiento combinado no estuvo acompañada por una reducción significativa de la incidencia o del desarrollo de las lesiones. Por ello, bajo las condiciones evaluadas, el efecto observado sobre la firmeza debe interpretarse de manera independiente de la respuesta antifúngica.

Los tratamientos no presentaron diferencias significativas en los grados Brix respecto al testigo absoluto, lo que contrasta con Song *et al*. (2025), quienes observaron que el agua activada por plasma retrasó la disminución de sólidos solubles en mango cortado, diferencia que podría relacionarse con la presentación del fruto y el mayor tiempo de inmersión empleado en su estudio.

7. CONCLUSIONES

En el ensayo *in vitro* los tratamientos con nanoencapsulados con aceite esencial de canela tuvieron una disminución significativa en el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* siendo el tratamiento de 1500 PPM el más efectivo teniendo una efectividad del 100% en comparación con el testigo absoluto. Por consiguiente, podemos concluir que el tratamiento fue efectivo debido al contenido de compuestos bioactivos en los nanoencapsulados con aceite esencial de canela, los cuales tienen un efecto antifúngico

En el ensayo *in vivo*, los tratamientos con agua activada por plasma y nanoencapsulados con aceite esencial de canela no redujeron significativamente la incidencia ni el crecimiento de las lesiones causadas por *Colletotrichum gloeosporioides* respecto al testigo absoluto, bajo las condiciones evaluadas. En conclusión, podemos declarar que el tratamiento no fue efectivo, esto se lo podemos adjudicar a la variación de condiciones que tuvo el experimento como el tiempo de inmersión, inoculación y almacenamiento.

El tratamiento funciono parcialmente, en la variable firmeza y grados Brix debido a que la combinación de AAP y NEC contribuyeron a mantener mayormente la firmeza en comparación con el testigo absoluto, sin embargo, no mostrando una diferencia significativa en el contenido de los grados brix.

La actividad antifúngica observada con los nanoencapsulados con aceite esencial de canela en condiciones *in vitro* no reprodujo la misma respuesta en frutos de mango, lo que indica que las condiciones de aplicación y la interacción con el tejido del fruto son factores relevantes para evaluar estas estrategias en postcosecha.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, P. M., Azevedo, S. G., de Andrade, C. P., D'Ambros, N. C. de S., Pérez, M. T. M., & Manzato, L. (2022). Biotechnological applications of nanoencapsulated essential oils: A review. *Polymers, 14*(24), Article 5495. https://doi.org/10.3390/polym14245495

Andrade-Hoyos, P., Hernández-Arenas, M., Mendieta-Moctezuma, A., Barrios-Gómez, E. J., Romero-Arenas, O., Ríos-Meléndez, S., Parraguirre-Lezama, C., & Ibarra-Torres, P. (2025). Effect of essential oils on postharvest management of anthracnose associated with *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz & Sacc., in mango. *Plants, 14*(21), Article 3249. https://doi.org/10.3390/plants14213249

Antonioli, G., Fontanella, G., Echeverrigaray, S., Longaray Delamare, A. P., Fernandes Pauletti, G., & Barcellos, T. (2020). Poly(lactic acid) nanocapsules containing lemongrass essential oil for postharvest decay control: *In vitro* and *in vivo* evaluation against phytopathogenic fungi. *Food Chemistry, 326*, Article 126997. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126997

Arcot, Y., Mu, M., Lin, Y.-T., DeFlorio, W., Jebrini, H., Kunadu, A. P.-H., Yegin, Y., Min, Y., Castillo, A., Cisneros-Zevallos, L., Taylor, T. M., & Akbulut, M. E. S. (2024). Edible nano-encapsulated cinnamon essential oil hybrid wax coatings for enhancing apple safety against food borne pathogens. *Current Research in Food Science*, *8*, 100667. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100667

Ayala-Garay, A. V., Almaguer-Vargas, G., De la Trinidad-Pérez, N. K., Caamal-Cauich, I., & Rendón, R. (2009). Competitividad de la producción de mango (*Mangifera indica* L.) en Michoacán. *Revista Chapingo. Serie Horticultura, 15*(2), 133–140. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2009000200005&script=sci_arttext

Barros, J. M. H. F., dos Santos, A. A., da Silva, A. C. F., Chamberlain, A. L. V., de Assis, H. C. S., Siebel, A. M., Stadnik, M. J., & da Costa, C. (2025). Nanoencapsulation of cinnamon essential oil in zein: Physicochemical properties, *in*

vitro release, and antifungal activity. *ACS Applied Polymer Materials, 7*(19), 12998–13010. https://doi.org/10.1021/acsapm.5c02214

Carmona, M. A., & Sautua, F. J. (2017). La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas: causas y efectos en cultivos extensivos. *Agronomía & Ambiente, 37*(1), 1–19. http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2017carmonamarcelo.pdf

Choudhary, H., Dhar, V., Dave, P., & Pareek, S. (2025). Postharvest anthracnose disease in mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Sustainable alternatives for the control. *Crop Science, 65*(3), Article e70064. https://doi.org/10.1002/csc2.70064

Danh, L. T., Giao, B. T., Duong, C. T., Nga, N. T. T., Tien, D. T. K., Tuan, N. T., Huong, B. T. C., Nhan, T. C., & Trang, D. T. X. (2021). Use of essential oils for the control of anthracnose disease caused by *colletotrichum acutatum* on post-harvest mangoes of Cat Hoa Loc variety. *Membranes*, *11*(9), 719. https://doi.org/10.3390/membranes11090719

Das, S., Ghosh, A., & Mukherjee, A. (2021). Nanoencapsulation-based edible coating of essential oils as a novel green strategy against fungal spoilage, mycotoxin contamination, and quality deterioration of stored fruits: An overview. *Frontiers in Microbiology, 12*, Article 768414. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768414

de Almeida Monaco, K., Costa, S. M., Minatel, I. O., Correa, C. R., Calero, F. A., Vianello, F., & Lima, G. P. P. (2016). Influence of ozonated water sanitation on postharvest quality of conventionally and organically cultivated mangoes after postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, *120*, 69-75. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.003

De la Cruz Padilla, V. A., Kikuno, H., & Motohashi, K. (2025). The effects of hot water treatments at higher temperature and chilling storage on mango fruit quality and post-harvest disease control. *Tropical Agriculture and Development, 69*(1), 9–19. https://doi.org/10.11248/jsta.69.9

de Souza, E. J. D., Pacheco, C. de O., Costa, I. H. de L., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2025). Applications of nanotechnology in essential oil protection to extend the shelf life of fruits and vegetables: A review. *Food Control, 170*, 111044. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111044

Dofuor, A. K., Quartey, N. K.-A., Osabutey, A. F., Antwi-Agyakwa, A. K., Asante, K., Boateng, B. O., Ablormeti, F. K., Lutuf, H., Osei-Owusu, J., Osei, J. H. N., Ekloh, W., Loh, S. K., Honger, J. O., Aidoo, O. F., & Ninsin, K. D. (2023). Mango anthracnose disease: The current situation and direction for future research. *Frontiers in Microbiology, 14*, Article 1168203. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1168203

Duong, C. T., Thao, H. T. P., Khang, D. M., Y, N. T. N., Nhan, T. C., Huong, B. T. C., Tuan, N. T., Truc, N. T. N., Tuệ, D. M., & Danh, L. T. (2024). Control of mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) by essential oil mixture. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 48*(6), 957–972. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3233

El Khetabi, A., Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Lyousfi, N., Banani, H., Askarne, L., Tahiri, A., El Ghadraoui, L., Belmalha, S., & Barka, E. A. (2022). Role of plant extracts and essential oils in fighting against postharvest fruit pathogens and extending fruit shelf life: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *120*, 402-417. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.009

Faria, C. M. X., & Inácio, C. A. (2023). Considerações sobre o gênero *Colletotrichum*. *Revisão Anual de Patologia de Plantas, 29*, 131–147. https://doi.org/10.31976/0104-038321v290006

Fernandes, K. F. D., Queiroga, T. S., Lima, M. da C., de Oliveira, K. Á. R., & de Souza, E. L. (2024). Interventions based on alternative and sustainable strategies for postharvest control of anthracnose and maintain quality in tropical fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *23*(5), e13427. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13427

Gálvez-Marroquín, L. A., Martínez-Bolaños, M., Cruz-Chávez, M. A., Ariza-Flores, R., Cruz-López, J. A., Magaña-Lira, N., Cruz de la Cruz, L. L., & Ariza-Hernández,

F. J. (2022). Inhibition of mycelial growth and conidium germination of *Colletotrichum* sp. for organic and inorganic products. *Agro Productividad, 15*(2), 25–32. https://doi.org/10.32854/agrop.v15i2.2051

García Muñoz, M. C., & Aya Rodríguez, J. E. (2024). *Reflexiones sobre el rol del manejo poscosecha en la reducción de las pérdidas de alimentos y la inseguridad alimentaria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7407495

Gautam, A. K. (2014). *Colletotrichum gloeosporioides*: Biology, pathogenicity and management in India. *Journal of Plant Physiology & Pathology, 2*(2), Article 125. https://doi.org/10.4172/2329-955X.1000125

Godana, E. A., Yang, Q., Zhang, X., Zhao, L., Wang, K., Dhanasekaran, S., Mehari, T. G., & Zhang, H. (2023). Biotechnological and Biocontrol Approaches for Mitigating Postharvest Diseases Caused by Fungal Pathogens and Their Mycotoxins in Fruits: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *71*(46), 17584-17596. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c06448

Guo, J., Jiang, X., Tian, Y., Yan, S., Liu, J., Xie, J., Zhang, F., Yao, C., & Hao, E. (2024). Therapeutic potential of cinnamon oil: Chemical composition, pharmacological actions, and applications. *Pharmaceuticals, 17*(12), Article 1700. https://doi.org/10.3390/ph17121700

Guo, J., Qin, D., Li, W., Wu, F., Li, L., & Liu, X. (2021). Inactivation of *Penicillium italicum* on kumquat via plasma-activated water and its effects on quality attributes. *International Journal of Food Microbiology, 343*, Article 109090. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109090

Gutiérrez-Alonso, J. G., Gutiérrez-Alonso, O., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Zavaleta-Mejía, E., & Delgadillo-Sánchez, F. (2004). Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología, 22*(3), 395–402. https://www.redalyc.org/pdf/612/61222313.pdf

Han, Q.-Y., Wen, X., Gao, J.-Y., Zhong, C.-S., & Ni, Y.-Y. (2023). Application of plasma-activated water in the food industry: A review of recent research developments. *Food Chemistry, 405*, Article 134797. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134797

Harikrishna, S., Pawase, P. A., Shams, R., & Dash, K. K. (2023). Cold plasma as an emerging nonthermal technology for food processing: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research, 14*, Article 100747. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100747

He, J., Wu, D., Zhang, Q., Chen, H., Li, H., Han, Q., Lai, X., Wang, H., Wu, Y., Yuan, J., Dong, H., & Qin, W. (2018). Efficacy and mechanism of cinnamon essential oil on inhibition of *Colletotrichum acutatum* isolated from 'Hongyang' kiwifruit. *Frontiers in Microbiology, 9*, Article 1288. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01288

Hío, J. C., Martínez Lemus, E. P., Rojas Zambrano, E. D., Osorio Cardona, J. A., Cruz Castiblanco, G. N., & Bustos Rodríguez, H. A. (2024). An integrated anthracnose management approach in Tommy Atkins mango cultivars in Cundinamarca–Colombia. *Universitas Scientiarum, 29*(3), 253–273. https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC293.aiam

Huang, S., Xu, H., Yin, Y., Yang, F., Yao, Q., Liao, X., Ding, T., Ma, R., Cui, D., & Jiao, Z. (2026). Antifungal activity and mechanism of plasma-activated water against *Colletotrichum gloeosporioides* in postharvest pepper anthracnose. *LWT, 248*, Article 119369. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2026.119369

Huerta-Palacios, G., Holguín-Meléndez, F., Benítez-Camilo, F. A., & Toledo-Arreola, J. (2009). Epidemiología de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.] en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología, 27*(2), 93–105. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092009000200002&script=sci_arttext

Jeevanantham, S., Praveen, A., Livitha, R., & Balamurugan, K. (2024). Post-harvest anthracnose of mango caused by *Colletotrichum gloeosporioides*: A review. *Archives*

of Current Research International, 24(2), 106–115. https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i2637

Kalkan, F. (2025). Management of postharvest diseases via eco-friendly technologies: A review of recent research. *Horticulturae*, *11*(9), 1056. https://doi.org/10.3390/horticulturae11091056

Katsaros, G., Giannoglou, M., Chanioti, S., Roufou, S., Javaheri, A., de Oliveira Mallia, J., Gatt, R., Agalou, A., Beis, D., & Valdramidis, V. (2023). Production, characterization, microbial inhibition, and *in vivo* toxicity of cold atmospheric plasma activated water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 84*, Article 103265. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103265

Khan, S., Abdo, A. A. A., Shu, Y., Zhang, Z., & Liang, T. (2023). The extraction and impact of essential oils on bioactive films and food preservation, with emphasis on antioxidant and antibacterial activities—A review. *Foods, 12*(22), Article 4169. https://doi.org/10.3390/foods12224169

Kongtragoul, P., Somnuek, S., Udompongsuk, M., Prasom, P., & Jaenaksorn, T. (2022). Cross-resistance to benzimidazole group and mancozeb fungicides in *Colletotrichum* spp. causing anthracnose disease. *Science and Technology Asia, 27*(4), 400–408. https://doi.org/10.14456/scitechasia.2022.95

Landero Valenzuela, N., Nieto Ángel, D., Téliz Ortiz, D., Alatorre Rosas, R., Orozco Santos, M., & Ortiz García, C. F. (2013). Potencial antifúngico de extractos de cuatro especies vegetales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya (*Carica papaya*) en poscosecha. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4*(1), 47–62.

Liao, W., Badri, W., Dumas, E., Ghnimi, S., Elaissari, A., Saurel, R., & Gharsallaoui, A. (2021). Nanoencapsulation of essential oils as natural food antimicrobial agents: An overview. *Applied Sciences, 11*(13), Article 5778. https://doi.org/10.3390/app11135778

Lin, W.-L., Duan, C.-H., & Wang, C.-L. (2023). Identification and virulence of *Colletotrichum* species causing anthracnose on mango. *Plant Pathology, 72*(3), 623–635. https://doi.org/10.1111/ppa.13682

Liu, B., Xin, Q., Zhang, M., Chen, J., Lu, Q., Zhou, X., Li, X., Zhang, W., Feng, W., Pei, H., & Sun, J. (2023). Research progress on mango post-harvest ripening physiology and the regulatory technologies. *Foods, 12*(1), Article 173. https://doi.org/10.3390/foods12010173

Liu, S., Yang, L., Zheng, S., Hou, A., Man, W., Zhang, J., Wang, S., Wang, X., Yu, H., & Jiang, H. (2021). A review: The botany, ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology of *Cinnamomi cortex*. *RSC Advances, 11*(44), 27461–27497. https://doi.org/10.1039/D1RA04965H

Los, A., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P. J., & Bourke, P. (2020). Inactivation efficacies and mechanisms of gas plasma and plasma-activated water against *Aspergillus flavus* spores and biofilms: A comparative study. *Applied and Environmental Microbiology, 86*(9), Article e02619-19. https://doi.org/10.1128/AEM.02619-19

Lucas-García, R., Rosas-Guerrero, V., Gutierrez-Flores, C., Aleman-Figueroa, L., López-Atanacio, M., & Cuevas, E. (2025). Reproductive biology of 'Ataulfo' mango: The state of the art and challenges for improving pollination and fruit production. In M. Pereira-Gonzatto & J. Scherer-Santos (Eds.), *Fruit crops science—Ecophysiological and horticultural perspectives*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1009473

Magri, A., Curci, M., Battaglia, V., Fiorentino, A., & Petriccione, M. (2023). Essential oils in postharvest treatment against microbial spoilage of the Rosaceae family fruits. *AppliedChem, 3*(2), 196–216. https://doi.org/10.3390/appliedchem3020013

Malahlela, H. K., Belay, Z. A., Mphahlele, R. R., Sigge, G. O., & Caleb, O. J. (2024). Recent advances in activated water systems for the postharvest management of quality and safety of fresh fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food*

Science and Food Safety, 23(2), Article e13317. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13317

Martínez, J. M. Z., Cauich, I. C., & Fernández, V. G. P. (2023). Comportamiento de variables económicas y de indicadores de comercio del mango mexicano. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *20*(3), 332-346. https://doi.org/10.22231/asyd.v20i3.1454

Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2015). Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage. *Postharvest Biology and Technology, 110*, 203–213. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.019

Molon, V. B., Onzi, M. P., Scariot, F. J., Delamare, A. P. L., Camassola, M., & Barcellos, T. (2026). Enhanced antifungal activity of *Origanum vulgare* L. essential oil through Eudragit® S100–based nanoencapsulation. *Postharvest Biology and Technology, 235*, Article 114191. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2026.114191

Montalbetti, R., Machala, Z., Gherardi, M., & Laurita, R. (2025). Production and chemical composition of plasma activated water: A systematic review and meta-analysis. *Plasma Processes and Polymers, 22*(1), Article e2400249. https://doi.org/10.1002/ppap.202400249

Monteon Ojeda, A., Mora Aguilera, J. A., Villegas Monter, Á., Nava Diaz, C., Hernández Castro, E., Otero-Colina, G., & Hernández Morales, J. (2012). Temporal analysis and fungicide management strategies to control mango anthracnose epidemics in Guerrero, Mexico. *Tropical Plant Pathology, 37*(6), 375–385. https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000600001

Moreno-Hernandez, C. L., Zambrano-Zaragoza, M. L., Gonzalez-Estrada, R. R., Velazquez-Estrada, R. M., Sanchez-Burgos, J. A., & Gutierrez-Martinez, P. (2024). Recent advances for postharvest protection and preservation of mango fruit: Areview. *Food Research*, *8*(2), 322-332. https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(2).105

Muñoz, N., & Concha-Meyer, A. (2022). Plasma frío atmosférico para el control de microorganismos patógenos en sistemas agroalimentarios. *Agro Sur, 50*(1), 11–19. https://doi.org/10.4206/agrosur.2021.v50n1-02

Narayanankutty, A., Kunnath, K., Alfarhan, A., Rajagopal, R., & Ramesh, V. (2021). Chemical Composition of Cinnamomum verum Leaf and Flower Essential Oils and Analysis of Their Antibacterial, Insecticidal, and Larvicidal Properties. *Molecules*, *26*(20), 6303. https://doi.org/10.3390/molecules26206303

Noriega-Cantú, D. H., Martínez-Bolaños, M., Garrido-Ramírez, E. R., Palacio-Martínez, V., & Ariza-Flores, R. (2024). *Antracnosis del mango: Tecnología de manejo integrado* (Libro Técnico núm. 6). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Ortiz Rodríguez, N. M., & Águila León, J. (2021). *Tecnologías de post-cosecha para mitigar la pérdida de productos frutihortícolas*. Repositorio ENI Ecosistema Nacional Informático de Energía, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT). https://repositorio-energia.conahcyt.mx/jspui/handle/1000/337

Pacheco-Jiménez, A. A., Basilio Heredia, J., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Quintana-Obregón, E. A., & Muy-Rangel, M. D. (2022). Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25*, e419. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419

Phan, K. T. K., Phan, H. T., Brennan, C. S., Regenstein, J. M., Jantanasakulwong, K., Boonyawan, D., & Phimolsiripol, Y. (2019). Gliding arc discharge non-thermal plasma for retardation of mango anthracnose. *LWT, 105*, 142–148. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.012

Peralta-Ruiz, Y., Rossi, C., Grande-Tovar, C. D., & Chaves-López, C. (2023). Green Management of Postharvest Anthracnose Caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Fungi*, *9*(6), 623. https://doi.org/10.3390/jof9060623

Pérez-Muñoz, E. O., Ortíz-Gil, G., Martínez-Bolaños, M., Manzo-Sánchez, G., Orozco-Santos, M., Mejía-Sánchez, D., & Martínez-Bolaños, L. (2025). Efecto de

bioaceites esenciales en el control de *Colletotrichum gloeosporioides* causante de la antracnosis en mango. *Acta Agrícola y Pecuaria, 11*(1), Article e0111016. https://doi.org/10.30973/aap/2025.10.0111016

Pinto, T. V., Silva, C. A., Siquenique, S., & Learmonth, D. A. (2022). Micro- and nanocarriers for encapsulation of biological plant protection agents: A systematic literature review. *ACS Agricultural Science & Technology, 2*(5), 838–857. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.2c00113

Puente-Díaz, L. (2024). Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: Una revisión actualizada. *Revista Chilena de Nutrición, 51*(2), 155–164. https://doi.org/10.4067/S0717-75182024000200155

Rahman, M., Hasan, M. S., Islam, R., Rana, R., Sayem, A., Sad, M. A. A., Matin, A., Raposo, A., Zandonadi, R. P., Han, H., Ariza-Montes, A., Vega-Muñoz, A., & Sunny, A. R. (2022). Plasma-activated water for food safety and quality: A review of recent developments. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(11), Article 6630. https://doi.org/10.3390/ijerph19116630

Ranga, R., & Lohani, P. (2026). Cinnamon essential oils as natural antifungal agents for food preservation. *Food Control*, *185*, 112030. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.112030

Rodríguez-López, E. S., González-Prieto, J. M., & Mayek-Pérez, N. (2009). La infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos bioquímicos y genéticos. *Revista Mexicana de Fitopatología, 27*(1), 53–63.

Romanazzi, G., Sanzani, S. M., Bi, Y., Tian, S., Gutiérrez Martínez, P., & Alkan, N. (2016). Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology, 122*, 82–94. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.003

Sainz García, A. (2024). *Aplicación de plasma atmosférico frío para la descontaminación de superficies* [Tesis doctoral, Universidad de La Rioja y

Universidad de Zaragoza]. Portal de Investigación de la Universidad de La Rioja. https://investigacion.unirioja.es/documentos/66d0b94a6549b31cccfec314?lang=en

Santiago-Santiago, M., Sanchez-Viveros, G., Pariona, N., Hernández-Montiel, L. G., & Chiquito-Contreras, R. G. (2024). ¿La nueva terapia para las plantas? Los aceites esenciales para control de enfermedades en agricultura. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria, 120*(2), 116–132. https://doi.org/10.12706/itea.2024.005

Sharma, U. K., Sharma, A. K., & Pandey, A. K. (2016). Medicinal attributes of major phenylpropanoids present in cinnamon. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *16*, 156. https://doi.org/10.1186/s12906-016-1147-4

Sheikh, A. R., Wu-Chen, R. A., Matloob, A., Mahmood, M. H., & Javed, M. (2024). Nanoencapsulation of volatile plant essential oils: A paradigm shift in food industry practices. *Food Innovation and Advances, 3*(3), 305–319. https://doi.org/10.48130/fia-0024-0028

Siddique, S. S., Hardy, G. E. St. J., & Bayliss, K. L. (2021). Plasma-activated water inhibits *in vitro* conidial germination of *Colletotrichum alienum*, a postharvest pathogen of avocado. *Plant Pathology, 70*(2), 367–376. https://doi.org/10.1111/ppa.13291

Silva Neto, J. A. D., Ambrósio, M. M. D. Q., Araújo, M. B. M., Silva, R. M. D., Pinto, P. S. L., & Holanda, I. S. A. (2022). Morphological, molecular and pathogenic characterization of *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from mango. *Revista Caatinga, 35*(3), 514–527. https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n302rc

Singh, N., Rao, A. S., Nandal, A., Kumar, S., Yadav, S. S., Ganaie, S. A., & Narasimhan, B. (2021). Phytochemical and pharmacological review of *Cinnamomum verum* J. Presl—a versatile spice used in food and nutrition. *Food Chemistry, 338*, Article 127773. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127773

Singh, D., Sharma, R. R., Devappa, V., & Kamil, D. (Eds.). (2021). *Postharvest handling and diseases of horticultural produce*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003045502

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Anuario estadístico de la producción agrícola 2023 (cierre agrícola 2023)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Sneha, K. B., Indra, N., Vanitha, S., Saranya, S., & Ramalakshmi, A. (2024). Exploring the non-chemical alternatives for the management of post-harvest fungal diseases of major tropical fruits- mango, banana and papaya. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *134*, 102460. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102460

Song, C., Wang, J., Wu, L., Liu, J., Liu, G., Gong, D., Zhang, W., Wei, J., & Zhang, Z. (2025). Quality and physiological changes in fresh-cut mango fruit as affected by cold plasma-activated water. *Postharvest Biology and Technology, 225*, Article 113524. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.113524

Sripong, K., Jitareerat, P., Tsuyumu, S., Uthairatanakij, A., Srilaong, V., Wongs-Aree, C., Ma, G., Zhang, L., & Kato, M. (2015). Combined treatment with hot water and UV-C elicits disease resistance against anthracnose and improves the quality of harvested mangoes. *Crop Protection, 77*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.004

Stegmayer, M. I., Fernández, L. N., Álvarez, N. H., Olivella, L., Gutiérrez, H. F., Favaro, M. A., & Derita, M. G. (2021). Aceites esenciales provenientes de plantas nativas para el control de hongos fitopatógenos que afectan a frutales. *FAVE Sección Ciencias Agrarias, 20*(1), 317–329. https://doi.org/10.14409/fa.v20i1.10273

Tamanna, M. H., Sarmin, S., Irin, U. A., Khatun, M. K., Talukder, M. R., & Hasan, M. M. (2026). Plasma-activated water: Mechanism and treatment duration for postharvest disease control and shelf-life enhancement of mango under ambient storage. *PLOS ONE, 21*(4), Article e0347546. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0347546

Thirumdas, R., Kothakota, A., Annapure, U., Siliveru, K., Blundell, R., Gatt, R., & Valdramidis, V. P. (2018). Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-

chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends in Food Science & Technology, 77*, 21–31. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.007

Tovar-Pedraza, J. M., Mora-Aguilera, J. A., Nava-Díaz, C., Lima, N. B., Michereff, S. J., Sandoval-Islas, J. S., Câmara, M. P. S., Téliz-Ortiz, D., & Leyva-Mir, S. G. (2020). Distribution and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in Mexico. *Plant Disease, 104*(1), 137–146. https://doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0178-RE

Tsitlakidou, P., Tasopoulos, N., Chatzopoulou, P., & Mourtzinos, I. (2023). Current status, technology, regulation and future perspectives of essential oils usage in the food and drink industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *103*(14), 6727-6751. https://doi.org/10.1002/jsfa.12695

Uddin, M. J., Robbani, M., Hasan, M. F., Rahman, H., Mehedi, M. N. H., & Islam, S. M. A. (2022). Isolation, screening and molecular identification of antagonistic bacteria against *Colletotrichum gloeosporioides* in mango. *Archives of Agriculture and Environmental Science, 7*(3), 432–439. https://doi.org/10.26832/24566632.2022.0703018

Vakili-Ghartavol, M., & Arouiee, H. (2025). Harnessing plant-derived antifungal agents and nanoencapsulation for postharvest pathogen management: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *24*, 102280. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102280

Vamshika, V. N., Kalappanavar, I. K., Gurupad, B., & Patil, V. S. (2021). Management of mango anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. *Journal of Farm Sciences, 36*(1), 59–61. https://doi.org/10.61475/jfm.v36i01.351

Verma, S., Sahu, S., Choudhary, A., & Panchouli, L. K. (2023). *In vitro* and in vivo evaluation of fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz. & Sacc) in mango. *International Journal of Plant & Soil Science, 35*(21), 758–762. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i214039

Worku, S., Alemu, K., & Tsedaley, B. (2025). Combining plant extracts and hot water treatments for the management of postharvest mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides)*. *Scientific Reports*, *15*, 5074. https://doi.org/10.1038/s41598-025-89587-9

Wu, Y., Cheng, J.-H., Keener, K. M., & Sun, D.-W. (2023). Inhibitory effects of dielectric barrier discharge cold plasma on pathogenic enzymes and anthracnose for mango postharvest preservation. *Postharvest Biology and Technology, 196*, Article 112181. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112181

Xie, Y., Huang, Q., Wang, Z., Cao, H., & Zhang, D. (2017). Structure-activity relationships of cinnamaldehyde and eugenol derivatives against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products*, *97*, 388-394. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.043

Yammine, J., Chihib, N.-E., Gharsallaoui, A., Ismail, A., & Karam, L. (2024). Advances in essential oils encapsulation: Development, characterization and release mechanisms. *Polymer Bulletin, 81*(5), 3837–3882. https://doi.org/10.1007/s00289-023-04916-0

Yao, L., & Gao, J. (2026). A review of non-thermal plasma technology and plasma–artificial intelligence integration in agriculture. *Agronomy, 16*(11), Article 1067. https://doi.org/10.3390/agronomy16111067

Yao, Q., Xu, H., Zhuang, J., Cui, D., Ma, R., & Jiao, Z. (2023). Inhibition of fungal growth and aflatoxin B1 synthesis in *Aspergillus flavus* by plasma-activated water. *Foods, 12*(13), Article 2490. https://doi.org/10.3390/foods12132490

Yin, C., Huang, C., Wang, J., Liu, Y., Lu, P., & Huang, L. (2019). Effect of chitosan- and alginate-based coatings enriched with cinnamon essential oil microcapsules to improve the postharvest quality of mangoes. *Materials, 12*(13), Article 2039. https://doi.org/10.3390/ma12132039

9. ANEXOS



Imagen 1. Inmersión de los frutos.



Imagen 2. Secado de los frutos.



Imagen 3. Esterilización de medio de cultivo envenenado.

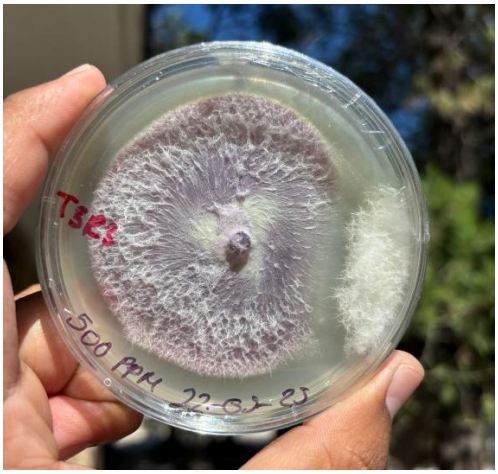


Imagen 4. Observación del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*