

Efecto de bioaceites esenciales en el control de *Colletotrichum gloeosporioides* causante de la antracnosis en mango

Effect of bioessential oils to control of *Colletotrichum gloeosporioides* causing of anthracnosis on mango fruit

Edgar Omar Pérez-Muñoz¹ , Gonzalo Ortíz-Gil¹ , Misael Martínez-Bolaños² , Gilberto Manzo-Sánchez³ , Mario Orozco-Santos⁴ , Dimas Mejía-Sánchez⁵ , Luciano Martínez-Bolaños^{6*} 

¹Universidad Autónoma Chapingo, CIAEZT/URUSSE, Carretera Teapa-Puyacatengo, km.7, 86800, Teapa, Tabasco, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa, km. 18. Carretera Tapachula-Cacahoatán, 30890, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

³Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Autopista Colima- Manzanillo km. 40, 28930. Tecmán, Colima, México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecmán, 28930, Tecmán, Colima, México.

⁵Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola, Maestría en Protección Vegetal, Km. 38.5 carretera México- Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México.

⁶Universidad Autónoma Chapingo, Centro Académico Regional sede Oaxaca, Fitosanidad Tropical, Ingeniería en Agricultura Sostenible, Maestría en Protección Vegetal IIPPV, 71200, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: lmartinezb@chapingo.mx

Fecha de recepción:

8 de febrero de 2025

Fecha de aceptación:

1 de mayo de 2025

Publicado en línea:

28 de agosto de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

RESUMEN

La antracnosis del mango, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, es una de las principales enfermedades que afectan al cultivo del mango a nivel mundial. El hongo infecta brotes, inflorescencias y frutos pequeños en precosecha, y ocasiona daños significativos en postcosecha. El manejo de la enfermedad se basa tradicionalmente en prácticas culturales y en la aplicación de fungicidas químicos, los cuales generan contaminación ambiental y favorecen la aparición de cepas resistentes. Por ello, este estudio tuvo como objetivo explorar alternativas de bajo impacto mediante el uso de bioaceites esenciales provenientes de plantas tropicales. En este trabajo se evaluó el efecto antifúngico *in vitro* de seis bioaceites (*Pimenta dioica* (L.) Merr., *Origanum vulgare* L., *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry, *Foeniculum vulgare* Moll., *Piper auritum* Kunth y *Cinnamomum verum* J.Presl) contra *Colletotrichum gloeosporioides*, aislado de tejidos de mango enfermos recolectados en Chahuities, Oaxaca, México. Los bioaceites esenciales se extrajeron por hidrodestilación utilizando un equipo Clevenger. La actividad antifúngica se determinó mediante la medición del crecimiento radial micelial y el cálculo de la concentración mínima inhibitoria (CMI), utilizando el método de dilución en agar. La actividad antifúngica de los aceites esenciales varió según el tipo de aceite y la dosis evaluada. *Syzygium aromaticum* y *P. dioica* a una concentración de 1,000 $\mu\text{L L}^{-1}$ inhibieron completamente el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*, con valores de CMI₉₅ de 779.4 y 1,092 $\mu\text{L L}^{-1}$, respectivamente. *Origanum vulgare* inhibió el 92% del crecimiento fúngico, con una CMI₉₅ de 2,183 $\mu\text{L L}^{-1}$. Estos resultados sugieren que los bioaceites esenciales pueden emplearse como una alternativa sostenible para el control de la antracnosis en el cultivo de mango.

PALABRAS CLAVE

Biofungicida, *Mangifera indica*, *Pimenta dioica*, *Syzygium aromaticum*

ABSTRACT

Mango anthracnose, caused by the fungus *Colletotrichum gloeosporioides*, is one of the main diseases affecting mango crops worldwide. The pathogen infects buds, inflorescences, and small fruits during the pre-harvest stage, and causes significant damage post-harvest. Diseases management is traditionally based on cultural practices and the application of chemicals fungicides, which contribute to environmental pollution and the development of pathogen resistance. Therefore,

this study aimed to explore low-impact alternatives using bioessential oils derived from tropical plants. In this study, the *in vitro* antifungal effect of six bioessential oils (*Pimenta dioica* (L.) Merr., *Origanum vulgare* L., *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry, *Foeniculum vulgare* Moll., *Piper auritum* Kunth and *Cinnamomum verum* J.Presl) was evaluated against *C. gloeosporioides* isolated from diseased mango tissues collected in Chahuities, Oaxaca, Mexico. The oils were extracted by hydrodistillation using a Clevenger apparatus. Antifungal activity was assessed by measuring the radial mycelial growth and determining the minimum inhibitory concentration (MIC) using the agar dilution method. The antifungal activity of bioessential oils varied depending on the type of oil and concentration tested. *Syzygium aromaticum* and *P. dioica* at 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$ completely inhibited the mycelial growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, with MIC₉₅ values of 779.4 and 1,092 $\mu\text{L L}^{-1}$, respectively. *Origanum vulgare* inhibited 92% of fungal growth, with MIC₉₅ of 2,183 $\mu\text{L L}^{-1}$. These results suggest that bioessential oils may serve as a sustainable alternative for controlling anthracnose in mango cultivation.

KEYWORDS

Bio fungicide, *Mangifera indica*, *Pimenta dioica*, *Syzygium aromaticum*

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los principales frutos tropicales que se consumen en el mundo, tanto por su sabor como por su riqueza en nutrientes, minerales, vitaminas y fibras dietéticas (Bambalele et al., 2021; Maldonado-Celis et al., 2019). Los principales países productores de mango en el mundo son India, China, Tailandia, Indonesia, Pakistán, México, Brasil, Bangladesh y Nigeria (Food and Agriculture Organization of the United Nations, s.f.). México es el quinto productor mundial de este cultivo, con una producción de 2,248,571 toneladas y un rendimiento de 10.81 ton ha⁻¹, en 219,452 hectáreas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, s.f.).

La antracnosis es la principal enfermedad fúngica que afecta al cultivo de mango, la cual es causada por especies del hongo *Colletotrichum* (Cheng et al., 2022; Peralta-Ruiz et al., 2023). El patógeno afecta a brotes y hojas tiernas, inflorescencias y frutos (Lin et al., 2023); sin embargo, las pérdidas más importantes que causa este patógeno, se presentan en la fase de madurez del fruto, donde se desarrollan lesiones oscuras y necróticas que cubren el fruto, lo cual impacta en la calidad y en la comercialización de los frutos, derivando en restricciones comerciales y pérdidas económicas significativas para los productores (Jeevanantham et al., 2024; Velásquez et al., 2024).

El impacto de la antracnosis en frutos de mango, ha motivado el desarrollo de estudios enfocados en

la epidemiología de la enfermedad (Mansoor et al., 2023); técnicas de detección temprana del patógeno (Velásquez et al., 2024); diversidad genética del patógeno (Ganesan et al., 2024; Tsushima y Shirasu, 2022); y el desarrollo de programas de mejoramiento genético y selección de germoplasma resistentes a la enfermedad (Grice et al., 2023; Sudheeran et al., 2021). Así mismo, el desarrollo de estrategias para el control de la enfermedad incluyen: prácticas culturales, aplicación de micronutrientes y vitaminas (Nazir et al., 2024; Zhu et al., 2024); algas marinas (Kaewkrajav y Dethoup, 2024); uso de extractos vegetales (Leesutthiphonchai et al., 2024); exploración de agentes de biocontrol (Evangelista-Martínez et al., 2022; Fernandes et al., 2023; Janamatti et al., 2022; Muniyappan et al., 2023; Naeem et al., 2023; Sharma et al., 2021; Vivas et al., 2022). En postcosecha el control se ha realizado mediante el uso de aire caliente, tratamientos hidrotérmicos, atmosferas modificadas y luz ultravioleta (Jeevanantham et al., 2024); y en general, el uso intensivo de fungicidas sintéticos como benomil, carbendazim, tiofonato metil, imazalil, tia-bendazole, difeconazol, procloraz, ditiocarbamato y azoles (Cheng et al., 2022; Khan et al., 2021; Mansoor et al., 2023; Mora-Aguilera et al., 2021; Singh et al., 2020). Sin embargo, el uso excesivo de fungicidas para el control de la enfermedad presenta un alto impacto al ambiente y a la salud humana (Muthusamy et al., 2024; Peralta-Ruiz et al., 2023; Tripathy et al., 2022), además, genera poblaciones resistentes del patógeno

(Cortaga et al., 2023), por lo cual es necesario desarrollar alternativas eco amigables que permitan un manejo sostenible de la antracnosis en el cultivo del mango.

Por otra parte, los bioaceites esenciales (AEs), una mezcla de compuestos aromáticos y volátiles, extraídos de diferentes partes de las plantas, están formados por terpenoides y sus derivados oxigenados, mismos que presentan un amplio espectro de acción contra microorganismos fitopatógenos (Rivera et al., 2015; Muthusamy et al., 2024). El mecanismo de acción de los AEs implica la inducción de cambios en la composición de la pared celular (Ghfir et al., 1997; Goncalvez et al., 2021); interrupción de la formación de ATP, disyunción de la membrana plástica y desorganización estructural de la mitocondria (Tariq et al., 2019); además también puede interferir con reacciones enzimáticas de la membrana mitocondrial (Sivakumar y Bautista, 2014).

Estudios muestran la actividad antimicrobial de extractos o aceites esenciales de plantas en el control de *C. gloeosporioides* causante de la antracnosis en mango, como *Allium longicuspis* Regel (De Guzman y Mangoba, 2020); *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit. (Huang et al., 2021); *Azadirachta indica* A.Juss. (Khan et al., 2021); *Cinnamomum* spp. (Leesutthiphonchai et al., 2024); *Citrus limon* L. (Alvindia y Mangoba, 2022); *Citrus hystrix* DC. (Chit-aree et al., 2023); *C. paradisi* (Cheng et al., 2022), *Citrus x aurantium* L. y *C. reticulata* x *sinensis* (Duong et al., 2024); *Lippia origanoides* Kunth, *Ocimum gratissimum* L., *Origanum vulgare* L., *C. burmanni* (Nees & T.Nees) Blume (Colín-Chávez et al., 2024; Vilela et al., 2024); *Magnolia officinalis* Rehder & E.H.Wilson (Yang et al., 2024); *Psidium guajava* L. (Mangoba et al., 2023), *Morus* sp. (Niu et al., 2022); *O. basilicum* var. *basilicum* (Danh et al., 2021) y *Rosmarinus officinalis* L. (Bilal y Hashmi, 2023). De igual forma, se han hecho estudios para evaluar el control de *C. gloeosporioides* en otros cultivos, utilizando extractos vegetales y aceites esenciales, como: *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Schiede ex Standl. (Muro-Medina et al., 2024); *Datura discolor* Bernh. (Verdugo-Contreras et al., 2023); *Chymacyparis obtusa* var. *formosana* (Hayata) Hayata (Qiao et al., 2022); *Ruta graveolens* L. (Peralta-Ruiz et al., 2024), entre otros. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de bioaceites esenciales

de la región sur sureste de México contra *Colletotrichum gloeosporioides*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento del hongo fitopatógeno

Frutos con síntomas de antracnosis, se colectaron en una plantación comercial de mango variedad Ataúlfo, en la localidad de Chahuities, Oaxaca, México (16° 17.295' N, 94° 11.591' O). En condiciones asépticas, porciones de tejidos enfermos se procesaron y se obtuvieron aislamientos de *C. gloeosporioides* en medio de cultivo a base de papa, dextrosa y agar (PDA) a 26 °C. La identificación del hongo se realizó mediante la caracterización morfológica y claves taxonómicas (Leslie y Summerell, 2006). Las pruebas de patogenicidad de los aislados se realizaron en frutos sanos de mango var. Ataúlfo. Las cepas de *C. gloeosporioides* se preservaron como cultivo monospórico en medio de cultivo PDA y una cepa se utilizó en el estudio.

Material vegetal y extracción de bioaceites esenciales

Seis especies vegetales se evaluaron contra *C. gloeosporioides*, las cuales se colectaron en áreas agrícolas de México, en los estados de Chiapas, Tabasco y Veracruz (Cuadro 1). Un espécimen de cada planta fue depositado en el herbario del Jardín Agrícola Tropical de la Universidad Autónoma Chapingo en la Unidad Regional Universitaria Sursureste (URUSSE). Las hojas y frutos se secaron en un horno a 60 °C por 72 h y posteriormente, se pulverizaron con un molino manual hasta obtener partículas finas (5 mm).

La extracción del bioaceite esencial se realizó por la técnica de arrastre de vapores, con un equipo destilador tipo Clevenger, acorde a lo descrito por otros autores (El Asbahani et al., 2015). El proceso de extracción de aceites esenciales consistió en agregar, 50 g del tejido vegetal seco y pulverizado a un matraz de tres bocas, y 500 mL de agua, el cual se expuso en una mantilla eléctrica a 110 °C por 2 h; este equipo presentó un adaptador que permitió condensar el vapor en un serpentín, y colectar al aceite esencial directamente en la parte inferior del equipo. Posteriormente se congeló a 0 °C durante 4 h, para separar el bioaceite esencial de las pequeñas gotas de agua arrastradas en

Cuadro 1. Especies vegetales y tejidos utilizados para la extracción de bioaceite esencial y su localidad geográfica de colecta.

Planta	Nombre científico	Familia	Material	Sitio de colecta
Pimienta	<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.	Myrtaceae	Fruto	Pichucalco, Chiapas
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M. Perry	Myrtaceae	Flor	Teapa, Tabasco
Orégano	<i>Origanum vulgare</i> L.	Lamiaceae	Hojas	Playa V, Veracruz
Canela	<i>Cinnamomum verum</i> J. Presl	Lauraceae	Corteza	Pichucalco, Chiapas
Momo	<i>Piper auritum</i> Kunth	Piperaceae	Hojas	Teapa, Tabasco
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Moll.	Apiaceae	Hojas	Tapachula, Chiapas

el proceso de extracción. El bioaceite esencial se almacenó en frascos ámbar y se conservaron a 4 °C, hasta que fueron utilizados.

Desarrollo de bioensayos para el control in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides*

El efecto antifúngico de los bioaceites esenciales se determinó mediante bioensayos con macro diluciones, basadas en el porcentaje de inhibición del crecimiento radial del micelio de *C. gloeosporioides*. Los bioaceites esenciales correspondieron a los diferentes tratamientos: *P. dioica*, *O. vulgare*, *S. aromaticum*, *F. vulgare*, *P. auritum*, y *C. verum*, y se evaluaron diferentes concentraciones: 0, 10, 50, 100, 500 y 1,000 µL L⁻¹, mismas que fueron previamente emulsificadas con 0.01% (v/v) de Tween 20. Adicionalmente se incluyeron tratamientos con fungicidas comerciales: tiabendazol (Mertect® 340F, ADAMA México, Ciudad de México, México), azoxystrobin (Tega 500SC®, Bayer, Ciudad de México, México), y sulfato de cobre pentahidratado (Mastercop®, ADAMA México, Ciudad de México, México) a concentraciones de 0, 5, 10, 50, 100 y 500 µL L⁻¹. Cada tratamiento se mezcló con 30 mL de medio de cultivo PDA a 45 °C, previamente esterilizado a 120 °C durante 15 minutos. Posteriormente, la mezcla se vertió en placas Petri de plástico (10 mL placa⁻¹) y placas con PDA sin bioaceites se usaron como testigo absoluto. Después de que los medios de cultivo solidificaron, se inocularon con un disco de 5 mm de diámetro de crecimiento de *C. gloeosporioides* y se incubaron a 28 °C. El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar, con cinco repeticiones. La evaluación del crecimiento del hongo se realizó diariamente, hasta

que el testigo cubrió completamente la caja Petri. El porcentaje de inhibición se calculó con la fórmula de Abbott (1925), con base al crecimiento diario del hongo en cada tratamiento respecto al crecimiento del testigo: % Inhibición = ((X-Y)/X)*100.

Donde: X = Crecimiento promedio del *C. gloeosporioides* en el testigo (mm); Y: Crecimiento promedio del hongo en cada tratamiento (mm).

Análisis estadístico. Los valores de crecimiento diario acumulado del hongo y porcentaje de inhibición se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$). La Concentración Efectiva (CE₅₀ y CE₉₅) se calculó mediante un análisis PROBIT, y el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2010).

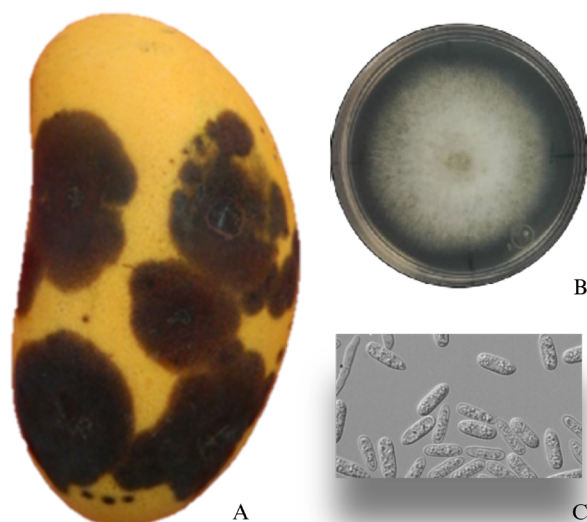


Figura 1. A) Fruto de mango con síntomas de Antracnosis, B) Aislamiento de *Colletotrichum* en medio de cultivo PDA, C) Formación de conidios.

Cuadro 2. Rendimiento de bioaceite esencial de los tejidos vegetales colectados.

Planta	Nombre científico	Tejido Vegetal	Rendimiento (mL 100 g ⁻¹ MS*)
Pimienta	<i>Pimienta dioica</i> L.	Fruto	2.33
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i> L.	Flor	4.0
Oregano	<i>Origanum vulgare</i> L.	Hojas	0.75
Canela	<i>Cinnamomum verum</i> J. Presl	Corteza	0.33
Hierba santa	<i>Piper auritum</i> Kunth	Hojas	0.66
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Hojas	0.83

*MS: Materia seca

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Aislamiento e identificación del hongo fitopatógeno asociado a la antracnosis del mango. Los aislamientos del hongo se caracterizaron por producir micelio de color salmón, de apariencia esponjosa y densa, con masas de conidios de color salmón en círculos concéntricos (Figura 1). Con base a las características morfológicas de conidias, el aislamiento se identificó como *Colletotrichum gloeosporioides*.

Rendimiento de aceite esencial

El rendimiento de bioaceite esencial, extraído por arrastre de vapores, a partir de diferentes tejidos de especies vegetales fue diferente. *S. aromaticum* presentó el mayor rendimiento con 4 mL de bioaceite esencial por cada 100 g⁻¹ materia seca, seguido por *P. dioica* (2.33 mL), *F. vulgare* (0.83 mL), *O. vulgare* (0.75 mL), *P. auritum* (0.66 mL) y *C. verum* (0.33 mL) (Cuadro 2). Las diferencias en el rendimiento de AE's, de las especies procesadas con respecto a otros estudios realizados, se debe a la especie y tejido vegetal utilizado, época del año y condiciones ambientales de crecimiento de las plantas, sistema de manejo del cultivo, sistema de proceso y almacenamiento de los tejidos vegetales, y método de extracción del bioaceite esencial, lo cual coincide con Premachandran et al. (2024).

Actividad antifúngica *in vitro* de bioaceites esenciales contra *C. gloeosporioides*

Los bioaceites esenciales y fungicidas presentaron una respuesta diferenciada en la inhibición del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* (Tukey, 0.05). En ese sentido, la actividad fungicida de cada bio-

ceite esencial fue dosis dependiente, la cual afectó de manera significativa ($p < 0.05$) el crecimiento de *C. gloeosporioides*, y fue acorde a las propiedades exhibidas por la concentración de cada aceite esencial (Cuadro 3 y Figura 2).

En particular, el aceite esencial de *P. dioica* y *S. aromaticum* a 1,000 $\mu\text{L L}^{-1}$ inhibió el crecimiento total de *C. gloeosporioides*; mientras que el aceite esencial de *O. vulgare* inhibió el 92.6% del crecimiento micelial del hongo, y no presentaron diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$). Sin embargo, el aceite esencial de *P. auritum*, *F. vulgare* y *C. verum*, a 1,000 $\mu\text{L L}^{-1}$, inhibió de manera parcial el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*; con valores de 32.1, 17.3 y 13.6%, respectivamente, los cuales presentaron diferencias estadísticas al resto de tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$) (Cuadro 3 y Figura 2).

La inhibición del crecimiento micelial de *Colletotrichum* sp. por efecto del bioaceite de *P. dioica* ha sido reportado para otros aislamientos del patógeno (Velázquez et al., 2021) quienes señalan una inhibición total del hongo a dosis de 5,000 y 20,000 mg L⁻¹. La actividad antimicrobial del bioaceite esencial de las hojas y frutos de *P. dioica* se ha estudiado contra hongos y bacterias (Dima et al., 2014; Zabka et al., 2009). Alrashidi et al. (2022) indican que el principal componente del bioaceite esencial de *P. dioica*, es el eugenol, el cual actúa sobre la membrana citoplasmática e inhibe el desarrollo de bacterias patógenas en alimentos; mientras que para el caso de hongos, Velázquez et al. (2021) señalan que los extractos de *P. dioica* modifican el tamaño de las esporas de *C. gloeosporioides*; además causan la degradación de vacuolas en las esporas del hongo.

El efecto potencial del bioaceite esencial de *S. aromaticum* para inhibir el crecimiento micelial de *Colletotrichum* fue señalado también por Perumal et al.

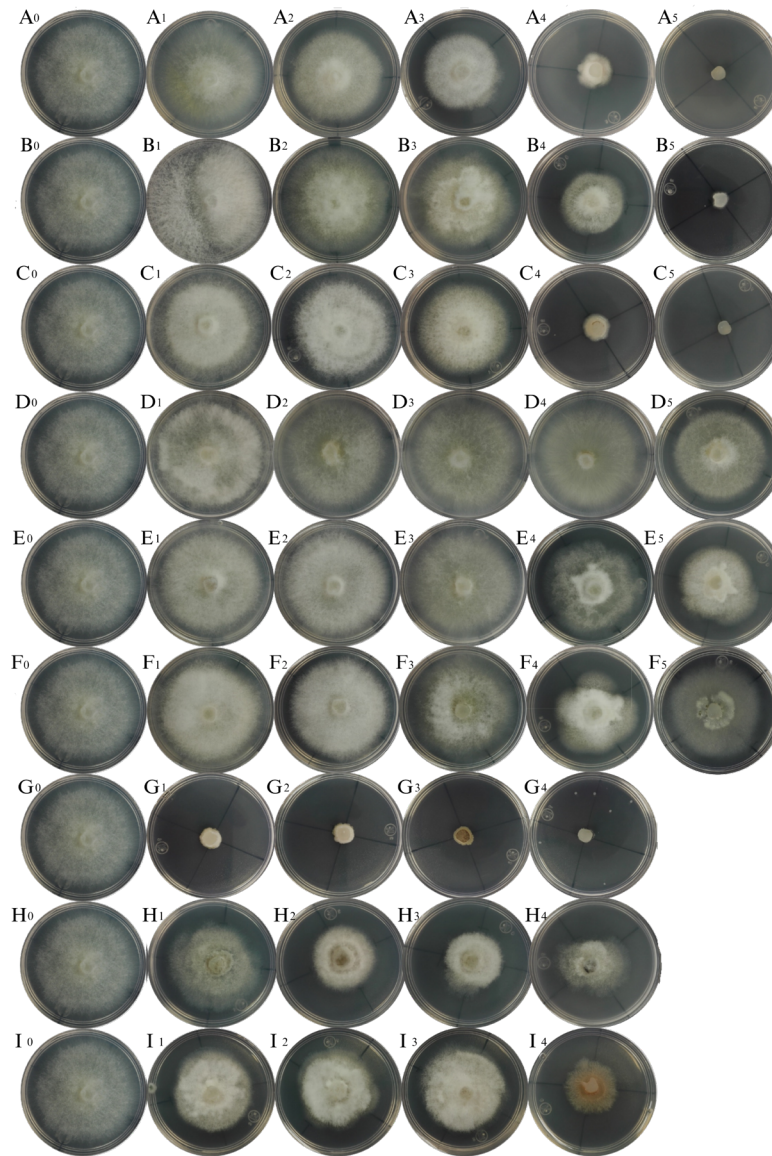


Figura 2. Efecto de bioaceites esenciales y fungicidas en el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*. A: *P. dioica*; B: *O. vulgare*; C: *S. aromaticum*; D: *F. vulgare*; E: *P. auritum*; F: *C. verum*; G: tiabendazol; H: azoxystrobin; I: sulfato de cobre pentahidratado. Dosis: 0:0 $\mu\text{L L}^{-1}$; 1: 10 $\mu\text{L L}^{-1}$; 2: 50 $\mu\text{L L}^{-1}$; 3: 100 $\mu\text{L L}^{-1}$; 4: 500 $\mu\text{L L}^{-1}$; 5: 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$.

Cuadro 3. Efecto de bioaceites esenciales y fungicidas químicos en la inhibición del crecimiento *in vitro* de *C. gloeosporioides*.

Dosis ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Inhibición del crecimiento micelial de <i>C. gloeosporioides</i> (%)								
	AEPD	AEOV	AESA	AEFV	AEPA	AECZ	TBZ	AZB	SCP
0	0.0 f	0.0 c	0.0 f	0.0 c	0.0 c	0.0 e	0.0 e	0.0 e	0 d
10	0.9 e	0.92 c	1.20 e	0.67 b	0.25 c	1.5 d	93.2 d	28.4 d	23.6 c
50	8.7 d	2.20 c	7.12 d	0.67 b	0.30 c	8.3 c	95.2 c	34.9 c	32.3 b
100	26.0 c	9.82 c	13.6 c	0.67 b	0.60 c	9.0 c	96.2 b	38.8 b	32.7 b
500	72.4 b	34.3 b	86.4 b	0.67 b	28.3 b	33.0 b	100 a	42.3 a	46.5 a
1,000	100 a	92.9 a	100 a	17.2 a	32.7 a	37.8 a			

AEPD: Aceite esencial de *P. dioica*; AEOV: A. esencial de *O. vulgare*; AESA: A. esencial de *S. aromaticum*; AEFV: A. esencial de *F. vulgare*; AEPA: A. esencial de *P. auritum*; AECZ: A. esencial de *C. verum*; TBZ: tiabendazol; AZB: Azoxystrobin; SCP: Sulfato de cobre pentahidratado. * Medias con letras diferentes presentan diferencias significativas (Tukey, 0.05)

(2016) y Vilela et al. (2024), quienes resaltan la presencia de eugenol como componente activo del bioaceite. En contraste, Bilal y Hashmi (2023), obtuvieron un 59.42% de inhibición del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* a 2,000 $\mu\text{L L}^{-1}$. El efecto de potencial del bioaceite esencial contra hongos fitopatógenos, se centra en sus componentes antimicrobiales y bioactivos, los cuales están en función de diferentes factores, como el ambiental, genético, manejo, entre otros.

El mecanismo antifúngico del bioaceite esencial de orégano implica la destrucción de la morfología celular y la estructura de la membrana, lo cual deriva en alteraciones en la permeabilidad de la membrana celular y la liberación de contenidos celulares (Wu et al., 2023).

Los resultados obtenidos con el bioaceite esencial de *C. verum*, difieren con los obtenidos por Bilal y Hashmi (2023), quienes obtuvieron un 55.08% de la inhibición del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*; sin embargo, utilizaron una dosis de 2,000 $\mu\text{L L}^{-1}$. Por otra parte, Perumal et al. (2016), obtuvieron una inhibición total del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* a 8 μL por caja petri; y resaltan al 3-methyl benzofuran (17.97%), como componente químico principal del bioaceite esencial. Maqbool et al. (2011) reportaron que la aplicación de aceite esencial de canela a 0.4% inhibió el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*; mientras que la combinación de goma arábica al 10% con aceite de canela al 0.4% mostró mejores resultados para el control de *C. musae* y *C. gloeosporioides*, al suprimir 73.4 y 70.0% del crecimiento micelial de estos hongos, y el 88 y 85% de la inhibición de la germinación de esporas, respectivamente.

Respecto a los resultados obtenidos con el aceite esencial de *P. auritum*, estos difieren con los obtenidos por Velázquez et al. (2021), quienes obtuvieron una inhibición total del crecimiento micelial del hongo con extractos etanólicos a 30 y 40 mg mL^{-1} . De igual forma, Pineda et al. (2012) encontraron que *P. auritum* inhibió el crecimiento de *C. acutatum* completamente durante las primeras 48 horas a dosis de 400 $\mu\text{L L}^{-1}$.

La riqueza fitogenética de México ofrece amplias oportunidades para la generación de nuevas alternativas para el manejo sostenible de la antracnosis, en especial, por su diversidad fitoquímica. En ese sentido, Zhang et al. (2023), indican que el hinokitiol inhibe el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* a 8 mg L^{-1} , lo

cual se debe a la ruptura de la membrana celular y al atenuado de la viabilidad de las células. Chillet et al. (2020) obtuvieron un control de la antracnosis en frutos de mango tratados con timol a 0.025%.

En cuanto al fungicida sistémico tiabendazol, inhibió el 90% del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* a 5 $\mu\text{L L}^{-1}$ y la inhibición total del hongo a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$; mientras que el fungicida azoxystrobin y el sulfato de cobre, inhibieron menos del 50% del crecimiento micelial del hongo a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$.

En cuanto al fungicida azoxystrobin, los resultados difieren, puesto que a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ inhibió el 42% del crecimiento del hongo.

Concentración mínima inhibitoria (CMI) de los bioaceites esenciales

Los aceites esenciales de *S. aromaticum* y *P. dioica* mostraron una alta actividad antifúngica contra *C. gloeosporioides*. La concentración mínima inhibitoria para obtener el 95% de inhibición del crecimiento micelial del patógeno fue 779.4 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 1,092 $\mu\text{L L}^{-1}$; y CMI₅₀ de 194.5 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 199 $\mu\text{L L}^{-1}$ respectivamente (Cuadro 4). Respecto a los fungicidas químicos evaluados, el tiabendazol presentó la mayor efectividad en el control *in vitro* de *C. gloeosporioides*, con valores de CMI₅₀ de 0.01 $\mu\text{L L}^{-1}$ y CMI₉₅ de 26.4 $\mu\text{L L}^{-1}$.

Por otra parte, *C. gloeosporioides* presentó baja sensibilidad a los fungicidas químicos azoxystrobin y sulfato de cobre pentahidratado, con valores de CMI₅₀ de 1,262 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 1,513 $\mu\text{L L}^{-1}$; y CMI₉₅ de 48,201,652 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 5,985,466 $\mu\text{L L}^{-1}$, respectivamente. En el caso de los aceites esenciales, *C. verum* y *F. vulgare* presentaron una CMI₅₀ de 10,496 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 12,217 $\mu\text{L L}^{-1}$ y una CMI₉₅ de 2,545,677 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 385,621 $\mu\text{L L}^{-1}$, respectivamente. Los altos valores de CMI₉₅, indican que no es posible controlar a *C. gloeosporioides*, tanto con este grupo de fungicidas como aceites esenciales.

Gutiérrez-Alonso y Gutiérrez-Alonso (2003) y Gutiérrez-Alonso et al. (2003a, b) encontraron que azoxystrobin presentó una CE₅₀ que fluctuó de 0.000006 a 0.01 $\mu\text{L L}^{-1}$, mientras que el benomil y tiabendazol presentaron una CE₅₀ > 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ por lo tanto consideraron como resistentes a los aislados de *C. gloeosporioides* de mango cv. Haden.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, demuestran que los aceites esenciales de las plantas,

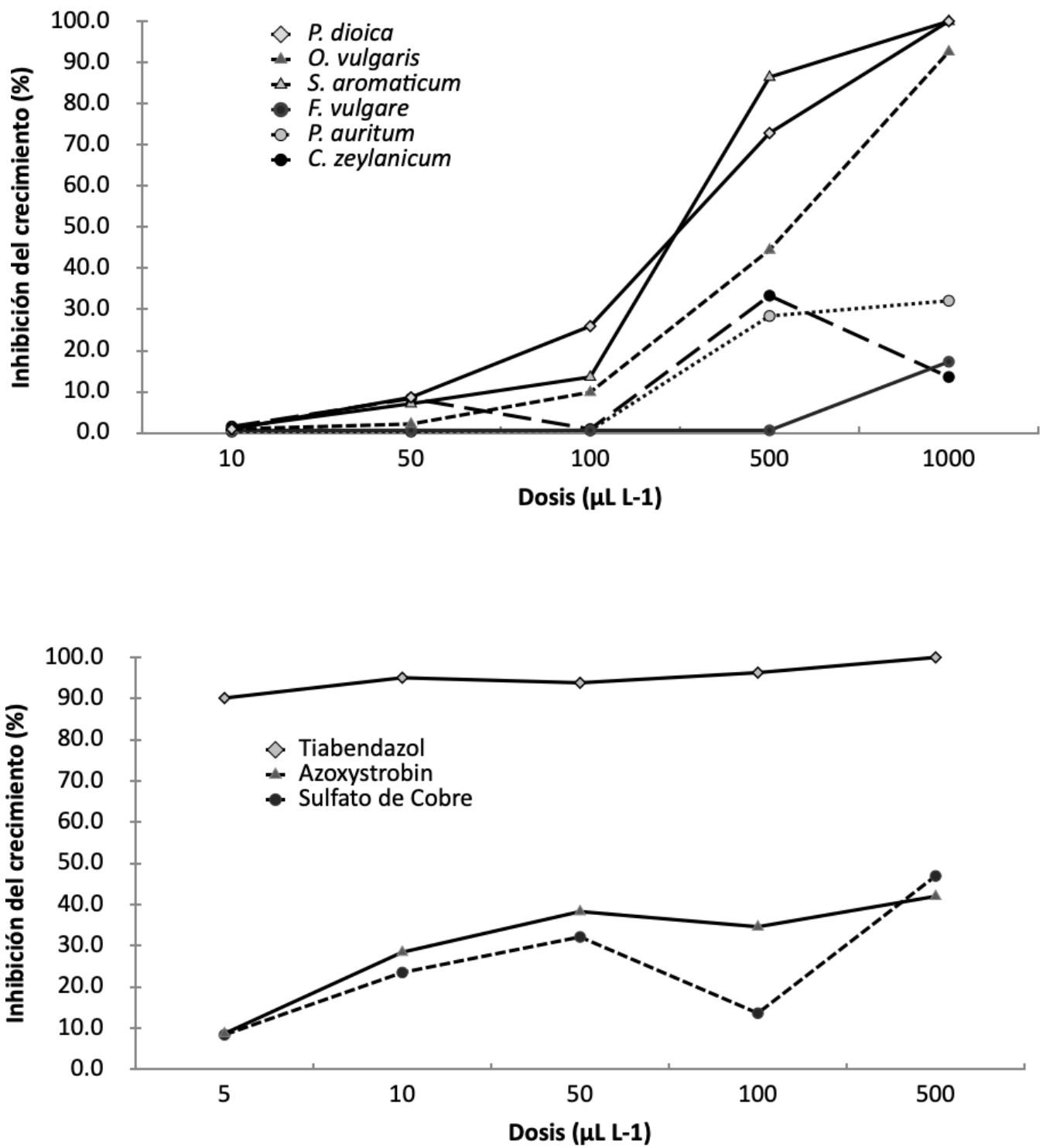


Figura 3. Efecto de aceites esenciales (superior) y fungicidas químicos (inferior) en la inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides*.

Cuadro 4. Concentración Mínima Inhibitoria (CMI₅₀ y CMI₉₅) de tratamientos para el control de *C. gloeosporioides* con bioaceites esenciales de extractos vegetales.

Bioaceite esencial	CMI ₅₀ (μl L ⁻¹)*	CMI ₉₅ (μl L ⁻¹)**
<i>P. dioica</i>	199.0	1,092.0
<i>O. vulgare</i>	393.7	2,183.0
<i>S. aromaticum</i>	194.5	779.4
<i>F. vulgare</i>	12,217.0	385,621.0
<i>P. auritum</i>	1,580.0	16,222.0
<i>C. verum</i>	10,496.0	2,545,677.0
tiabendazol	0.01	26.4
azoxystrobin	1,262.0	48,201,652.0
sulfato de cobre	1,513.0	5,985,466.0

*Concentración Mínima Inhibitoria 50; **Concentración Mínima Inhibitoria 95

presentan potencial antifúngico similar a los fungicidas químicos comerciales; sin embargo, con menor riesgo para la salud humana y para el ambiente; lo cual se fortalece con los resultados obtenidos por Danh et al. (2021), de Oliveira et al. (2017), Sarkhosh et al. (2017), Sivakumar y Bautista (2014), Maqbool et al. (2011) y Chala et al. (2014), quienes realizaron pruebas de diferentes aceites esenciales contra hongos fitopatógenos causantes de enfermedades en frutos tropicales. La efectividad antifúngica de los aceites esenciales se debe a los compuestos presentes en estos, especialmente los fenoles monoterpénicos, tales como el timol, carvacrol y eugenol.

CONCLUSIONES

Los bioaceites esenciales de *Pimenta dioica* y *Syzygium aromaticum* mostraron un efecto potencial en el control *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides*. La inhibición total del crecimiento micelial del hongo fitopatógeno se obtuvo a 1,000 μL L⁻¹ de bioaceite esencial; sin embargo, la concentración efectiva CE₉₅ para *P. dioica* y *S. aromaticum* fue 1,092 μl L⁻¹ y 779.4 μl L⁻¹, respectivamente. Estos resultados indican el uso potencial de los bioaceites esenciales y recursos fitogenéticos, para control de antracnosis en el cultivo de mango, y muestran una alternativa para el manejo sostenible de *C. gloeosporioides*.

LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Alvindia, D. de G., & Mangoba, M. A. A. (2020). Bioactivities of *Allium longicuspis* Regel against anthracnose of mango caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). *Scientific Reports*, 10, 11367. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68399-z>
- Alvindia, D. de G., & Mangoba, M. A. A. (2022). Fungitoxic activities of *Citrus limon* L. peel extracts in controlling anthracnose of mango. *Journal of Plant Pathology*, 104, 939-945. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01080-8>
- ALrashidi, A. A., Noumi, E., Snoussi, M., & Feo, V. D. (2022). Chemical composition, antibacterial and anti-quorum sensing activities of *Pimenta dioica* L. essential oil and its major compound (eugenol) against food-borne pathogenic bacteria. *Plants*, 11(4), 540. <https://doi.org/10.3390/plants11040540>
- Bambalele, N. L., Mditshwa, A., Magwaza, L. S., & Tesfay, S. Z. (2021). Recent advances on post harvest technologies of mango fruit: a review. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 565-586. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1918605>
- Bilal, H., & Hashmi, M. S. (2023). Combination of rosemary oil and potassium sorbate controls anthracnose in mango fruit by triggering defense-related enzymes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 127, 102112. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102112>

- Chala, A., Getahun, M., Alemayehu, S., & Tadesse, M. (2014). Survey of mango anthracnose in Southern Ethiopia and *in vitro* screening of some essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides*. *International Journal of Fruit Science*, 14(2), 157-173. <https://doi.org/10.1080/15538362.2013.817899>
- Cheng, Y.-J., Wu, Y.-J., Lee, F.-W., Ou, L.-Y., Chen, C.-N., Chu, Y.-Y., & Kuan, Y.-C. (2022). Impact of storage condition on chemical composition and antifungal activity of pomelo extract against *Colletotrichum gloeosporioides* and anthracnose in post-harvest mango. *Plants*, 11, 2064. <https://doi.org/10.3390/plants11152064>
- Chillet, M., Minier, J., Hoarau, M., & R Melle, J. C. (2020). Optimization of the post harvest treatment with thymol to control mango anthracnose. *American Journal of Plant Science*, 11, 1235-1246. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.118087>
- Chit-aree, L., Unpaprom, Y., Ramaraj, R., & Thirabunyanom, M. (2023). Valorization and biorefinery of kaffir lime peels waste for antifungal activity and sustainable control of mango fruit anthracnose. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 10735-10749. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01768-4>
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Martínez-Téllez, M. Á., Avelino-Ramírez, C., Gallegos-Santoyo, N. L., & Miranda-Ackerman, M. A. (2024). Control of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) growth in "Hass" avocado fruit using sachets filled with oregano oil-starched-capsules. *Future Foods*, 10, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100394>
- Cortaga, C. Q., Cordez, B. W. P., Dacones, L. S., Balendres, M. A. O., & Dela Cueva, Fe. M. (2023). Mutations associated with fungicide resistance in *Colletotrichum* species: A review. *Phytoparasitica*, 51, 569-592. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01063-0>
- Danh, L. T., Giao, B. T., Đường, 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, 719. <https://doi.org/10.3390/membranes11090719>
- de Oliveira, K. Á. R., Berger, L. R. R., de Araújo, S. A., Câmara, M. P. S., & de Souza, E. L. (2017). Synergistic mixtures of chitosan and *Mentha piperita* L. essential oil to inhibit *Colletotrichum* species and anthracnose development in mango cultivar Tommy Atkins. *Food Microbiology*, 66, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.04.012>
- Dima, C., Cotârlet, M., Alexe, P., & Dima, S. (2014). Reprint of "Microencapsulation of essential oil of pimento [*Pimenta dioica* (L) Merr.] by chitosan/k-carrageenan complex coacervation method". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 25, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.07.008>
- Duong, C. T., Thao, H. T. P., Y, N. T. N., Tien, D. T. K., Nga, N. T. T., Nhan, T. C., Huong, B. T. C., Ercisli, S., Truc, N. T. N., & Danh, L. T. (2024). Application of essential oils extracted from peel wastes of four orange varieties to control anthracnose caused by *Colletotrichum scovillei* and *Colletotrichum gloeosporioides* on mangos. *Plants*, 12(15), 2761. <https://doi.org/10.3390/plants12152761>
- El Asbahani, A., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Aït Addi, E. H., Casabianca, H., El Mousadik, A., Hartmann, D., Jilale, A., Renaud, F. N. R., & Elaissari, A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1—2), 220-243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>
- Evangelista-Martínez, Z., Ek-Cen, A., Torres-Calzada, C., & Uc-Várgues, A. (2022). Potential of *Streptomyces* sp. strain AGS-58 in controlling anthracnose-causing *Colletotrichum siamense* from post-harvest mango fruits. *Journal of Plant Pathology*, 104, 553-563. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01104-3>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). FAOSTAT. Resource document. Recuperado el 20 de diciembre de 2024 de: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Fernandes, K. F. D., de Oliveira, K. A. R., & de Souza, E. L. (2023). Application of potentially probiotic fruit-derived lactic acid bacteria loaded into sodium alginate coatings to control anthracnose development in guava and mango during storage. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 15, 573-587. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09871-8>
- Ganesan, S., Kumari, N., Sahu, S., Pattanaik, M., Raj, A., Panda, M., Srinivas, P., & Singh, H. S. (2024). Characterization of *Colletotrichum* species causing new pre-harvest anthracnose symptoms on mango in Eastern India. *Australasian Plant Pathology*, 53, 239-252. <https://doi.org/10.1007/s13313-024-00973-9>
- Ghfir, B., Fonvieille, J. L., & Dargent, R. (1997). Influence of essential oil of *Hyssopus officinalis* on the chemical composition of the walls of *Aspergillus fumigatus*

- (Fresenius). *Mycopathologia*, 138, 7-12. <https://doi.org/10.1023/A:1006876018261>
- Goncalves, D. da C., Ribeiro, W. R., Gonçalves, D. C., Menini, L., & Costa, H. (2021). Recent advances and future perspective of essential oils in control *Colletotrichum* spp.: A sustainable alternative in postharvest treatment fruits. *Food Research International*, 150(Pt. A), 110758. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110758>
- Grice, K. R. E., Bally, I. S. E., Wright, C. L., Maddox, C., Ali, A., & Dillon, N. L. (2023). Mango germplasm screening for the identification of sources of tolerance to anthracnose. *Australasian Plant Pathology*, 52, 27-41. <https://doi.org/10.1007/s13313-022-00899-0>
- Gutiérrez-Alonso, O., & Gutiérrez-Alonso, J. G. (2003). Evaluación de resistencia a benomil, thiabendazol y azoxystrobin para el control de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc.) en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) en postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 228-232.
- Gutiérrez-Alonso, J. G., Gutiérrez-Alonso, O., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Zavaleta-Mejía, E., Delgadillo-Sánchez, F., & Vaquera-Huerta, H. (2003a). Evaluación de Resistencia a Imazalil, Prochloraz y Azoxystrobin en aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y control de la antracnosis del mango (*Mangifera indica* L.) en postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 379-383.
- Gutiérrez-Alonso, J. G., Gutierrez-Alonso, O., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Zavaleta-Mejía, E., Delgadillo-Sánchez, F., & Vaquera-Huerta, H. (2003b). Resistencia a benomil y tiabendazol en aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. obtenidos de mango (*Mangifera indica* L.) en cinco regiones de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 260-266.
- Huang, X., Liu, T., Zhou, C., Huang, Y., Liu, X., & Yuan, H. (2021). Antifungal activity of essential oils from three *Artemisia* species against *Colletotrichum gloeosporioides* of mango. *Antibiotics*, 10(11), 1331. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10111331>
- Janamatti AT, Kumar A, Kaur C, Gogoi R, Varghese E. (2022). Fumigation by bacterial volatile 2,5-dimethylpyrazine enhances anthracnose resistance and shelf life of mango. *European Journal of Plant Pathology*, 164, 209-227. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02551-5>
- Kaewkrajay, C., & Dethoup, T. (2024). Biocontrol ability of marine yeasts against postharvest diseases in mangos caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae*. *European Journal of Plant Pathology*, 168, 709-721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10658-023-02795-9>
- Khan, M. R., Chonhenchob, V., Huang, C., & Suwanamornlert, P. (2021). Antifungal activity of propyl disulfide from neem (*Azadirachta indica*) in vapor and agar diffusion assays against anthracnose pathogens (*Colletotrichum gloeosporioides* and *Colletotrichum acutatum*) in mango fruit. *Microorganisms*, 9(4), 839. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040839>
- Leesutthiphonchai, W., Piasai, O., Vajrodya, S., Umrung, S., Schinnerl, J., Steinkellner, S., & Khewkhom, N. (2024). Evaluation of efficacy of four *Cinnamomum* species extracts and cinnamaldehyde to control anthracnose of mango fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 170, 263-279. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02897-y>
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing.
- 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>
- Mangoba, M. A. A., & Alvindia, D. de G. (2023). Potential use of *Myrtus guajava* (L.) Kuntze for the management of anthracnose disease of mango fruit. *Indian Phytopathology*, 76, 133-140. <https://doi.org/10.1007/s42360-023-00595-z>
- Mansoor, T., Abdurrehman, Subhani, M. N., Malik, M. T., Abbas, A., Hasnain, A., Rao, M. J., Alrefaei, A. F., Naqvi, S. A. H., & Zhou, L. (2023). Extensive field surveys, spatiotemporal analysis, and response of fungicidal chemistries reveal dynamic nature of *Colletotrichum gloeosporioides*, a cause of mango anthracnose disease. *Erwerbs-Obstbau*, 65, 2459-2468. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00927-3>
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero O., J. C. (2019). Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P. G., Mohamed, M. T. M., Siddiqui, Y., & Zahid, N. (2011). Postharvest application of gum arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.002>

- Mora-Aguilera, J. A., Ríos-López, E. G., Yáñez-Zúñiga, M., Rebollar-Alviter, A., Nava-Díaz, C., Leyva-Mir, S. G., Sandoval-Islas, J. S., & Tovar-Pedraza, J. M. (2021). Sensitivity to MBC fungicides and prochloraz of *Colletotrichum gloeosporioides* species complex isolates from mango orchards in Mexico. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128, 481-491. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00412-z>
- Muniyappan, G., Gurudevan, T., Thangaraj, P., Balamurali, A. S., Iyadurai, A. P., Suppaiah, R., Subbiah, K. A., & Shanmugam, H. (2023). Benzothiazole —An antifungal compound derived from medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* against mango anthracnose pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz and (Sacc.)). *Molecules*, 28, 2476. <https://doi.org/10.3390/molecules28062476>
- Muro-Medina, C. V., García-Morales, S., Garza-García, J. J., Hernández-Díaz, J. A., Peña-Magaña, C. S., Morales-García, J. L., & León-Morales, J. M. (2024). In vitro antifungal activity of saponins-rich fractions from *Enterolobium cyclocarpum* and *Amphipterygium adstringens* against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 1081-1086. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00869-2>
- Muthusamy, L., Balakumbahan, R., Rajangam, J., Sathiyamurthi, S., Anitha, T., Muthusamy, D., & Velmurugan, T. (2024). Spice and herb oil as potential alternative to agrochemicals in postharvest management of fruits and vegetables. *Discover Applied Sciences*, 6, 404. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06112-9>
- Naeem, I., Javed, N., Khan, S. A., & Abbas, M. (2023). Application of mixtures of chemical and biocontrol agents against anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) of citrus and pathogen variability in local zone. *Gesunde Pflanzen*, 75, 2281-2289. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00926-0>
- Nazir, W., Naqvi, S. A. H., Ahmed, N., Rehman, A. u., Alrefaei, A. F., Zulfiqar, M. A., & Umar, U. ud D. U. (2024). Optimizing micronutrient supplementation in mango orchards for the suppression of mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Applied Fruit Science*, 66, 1417-1430. <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01115-7>
- Niu, X., Lin, L., Liu, L., Yu, Y., & Wang, H. (2022). Antifungal activity and molecular mechanisms of mulberrin derivatives against *Colletotrichum gloeosporioides* for mango storage. *International Journal of Food Microbiology*, 378, 109817. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109817>
- Peralta-Ruiz, Y., Molina-Hernandez, J. B., Grande-Tovar, C. D., Serio, A., Valbonetti, L., & Chaves-López, C. (2024). Antifungal mechanism of *Ruta graveolens* essential oil: A Colombian traditional alternative against anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Molecules*, 29, 3516. <https://doi.org/10.3390/molecules29153516>
- Peralta-Ruiz, Y., Rossi, C., Grande-Tovar, C. D., & Chaves-López, C. (2023). Green management of post harvest anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Fungi*, 9(6), 623. <https://doi.org/10.3390/jof9060623>
- Perumal, A. B., Sellamuthu, P. S., Nambiar, R. B., & Sadiku, E. R. (2016). Antifungal activity of five different essential oils in vapour phase for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* in vitro and on mango. *International Journal of Food Science + Technology*, 51(2), 411-418. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12991>
- Pineda M., R., Vizcaíno P., S., García P., C. M., Gil G., J. H., & Durango R., D. L. (2012). Chemical composition and antifungal activity of *Piper auritum* Kunt and *Piper holtonii* C. DC. against phytopathogenic fungi. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(4), 507-515. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000400008>
- Premachandran, M., S., Rastogi, N. K., & Murthy, P. S. (2024). Implications of dehydration processing on the bio-actives, chemometrics and fingerprinting of allspice (*Pimenta dioica* L.) leaves. *Food Biophysics*, 19, 1157-1176. <https://doi.org/10.1007/s11483-024-09885-z>
- Qiao, Y., Xu, L., Xu, G., Cao, Y., Gao, Y., Wang, Y., & Feng, J. (2022). Efficacy and potential mechanism of hinokitiol against postharvest anthracnose of banana caused by *Colletotrichum musae*. *LWT*, 161, 113334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113334>
- Rivera Calo, J., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems — A review. *Food Control*, 54, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
- Sarkhosh, A., Vargas, A. I., Schaffer, B., Palmateer, A. J., Lopez, P., Soleymani, A., & Farzaneh, M. (2017). Postharvest management of anthracnose in avocado (*Persea americana* Mill.) fruit with plant-extracted oils. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.02.001>
- SAS Institute. (1998). *Language guide for personal computers, release 6.03 edition*. SAS Institute.

- Sharma, A., Sharma, I. M., Sharma, M., Sharma, K., & Sharma, A. (2021). Effectiveness of fungal, bacterial and yeast antagonists for management of mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 135. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00480-9>
- Sudheeran, P. K., Sela, N., Carmeli-Weissberg, M., Ovadia, R., Panda, S., Feygenberg, O., Maurer, D., Oren-Shamir, M., Aharoni, A., & Alkan, N. (2021). Induced defense response in red mango fruit against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Horticulture Research*, 8, 17. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00452-4>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s.f.). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado el 5 de febrero de 2025 de: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Singh, H., Arora, A., Kaur, S., & Kaur, K. (2020). Evaluation of germplasm, fungicides and biocontrol agents against anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) in mango (*Mangifera indica*) nursery. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(6), 1125-1129. <https://doi.org/10.56093/ijas.v90i6.104782>
- Sivakumar, D., & Bautista-Baños, S. (2014). A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection*, 64, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.012>
- Tariq, S., Wani, S., Rasool, W., Shafi, K., Bhat, M. A., Prabhakar, A., Shalla, A. H., & Rather, M. A. (2019). A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 134, 103580. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103580>
- Tripathy, V., Sharma, K. K., Mohapatra, S., Siddamallaiiah, L., Matadha, N. Y., Patil, C. S., Saindane, Y. S., Deore, B., Rao, C. S., Parmar, K. D., Litoriya, N. S., Shah, P. G., & Sharma, K. (2022). Persistence evaluation of flupyrim + tebuconazole residues on mango and pomegranate and their risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 33180-33190. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17993-3>
- Tsushima, A., & Shirasu, K. (2022). Genomic resources of *Colletotrichum* fungi: development and application. *Journal of General Plant Pathology*, 88, 349-357. <https://doi.org/10.1007/s10327-022-01097-y>
- Velásquez, C., Aleixos, N., Gomez-Sanchiz, J., Cubero, S., Prieto, F., & Blasco, J. (2024). Enhancing anthracnose detection in mango at early stages using hyperspectral imaging and machine learning. *Postharvest Biology and Technology*, 209, 112732. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112732>
- Velázquez S., A., Robles Y., L., & Barrera N., L. L. (2021). Chemical profile and antifungal activity of plant extracts on *Colletotrichum* spp. isolated from fruits of *Pimenta dioica* (L.) Merr. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 179, 104949. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104949>
- Verdugo-Contreras, X. E., Martínez-Álvarez, J. C., Díaz-Camacho, S. P., Félix-Gastélum, R., Leyva-Madriral, K. Y., Ibarra-Sarmiento, C. R., Romero-Urías, C., & Mora-Romero, G. A. (2023). Antifungal activity of weed aqueous extracts on Persian lime anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130, 293-300. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00671-y>
- Vilela, E. S. D., Terao, D., de Queiroz, S. C. do N., da Silva, A. M., Maia, A. de H. N., Fracarolli, J. A., Dorta, C., & dos Santos, L. da S. (2024). Essential oils on the control of fungi causing post harvest diseases in mango. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55, 689-698. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01237-2>
- Vivas Z., D. H., Vásquez M., J. V., Duque A., L., López, J. G., Castro-Ríos, K., & Montoya-Estrada, C. N. (2022). Influence of a biological coating and a wax on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) variety "Keitt". *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16, 4225-4235. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01518-8>
- Wu, T.-L., Zhang, B.-Q., Luo, X.-F., Li, A.-P., Zhang, S.-Y., An, J.-X., Zhang, Z.-J., & Liu, Y.-Q. (2023). Antifungal efficacy of sixty essential oils and mechanism of oregano essential oil against *Rhizoctonia solani*. *Industrial Crops and Products*, 191(Part A), 115975. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115975>
- Yang, H., Yuan, X., Pan, Y., Tan, Y., Han, Z., Guan, H., Wu, S., & Xu, Y. (2024). Magnolia inhibits *Colletotrichum gloeosporioides* via disruption of plasma membrana and induction of reactive oxygen species accumulation. *Food Bioscience*, 61, 104620. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104620>
- Zabka, M., Pavela, R., Slezakova, L. (2009). Antifungal effect of *Pimenta dioica* essential oil against dangerous pathogenic and toxinogenic fungi. *Industrial Crops and*

- Products*, 30(2), 250-253. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.04.002>
- Zhang, S., Wang, J., Sun, H., Yang, J., Zhao, J., & Wang, Y. (2023). Inhibitory effects of hinokitiol on the development and pathogenicity of *Colletotrichum gloeosporioides*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, 356. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03810-1>
- Zhu, M., Yang, Z., Wang, N., Chen, L., Xiao, Y., Yu, L., Long, C., Yang, X., & Yu, J. (2024). Riboflavin alleviates the occurrence of anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in postharvest mango and the possible mechanisms involved. *Food Bioscience*, 59, 104169. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104169>