



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**



Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales

Programa de Maestría en Producción Agropecuaria

**Patogenicidad, virulencia y sensibilidad a productos biológicos,
de aislados de *Colletotrichum* spp. obtenidos de mango con
antracnosis**

TESIS

**Para obtener el grado de
Maestro en Producción Agropecuaria
Opción Terminal: Agrícola**

Presenta:

IBT. Germán Guadalupe Flores Méndez

DIRECTORA

DRA. SYLVIA PATRICIA FERNÁNDEZ PAVÍA

CO-DIRECTOR

DR. GERARDO RODRÍGUEZ ALVARADO

Morelia Michoacán a febrero de 2022



El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Patología Vegetal perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), bajo la dirección de la Dra. Sylvia Patricia Fernández Pavía y la co-dirección del Dr. Gerardo Rodríguez Alvarado. Así también con el apoyo incondicional de mi comité tutorial conformado por, la Dra. Edith Garay Serrano, el Dr. Luis López Pérez y el Dr. Alejandro Martínez Palacios.

Con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) beca N° 733515.

DEDICATORIA

A mis padres: Ana María Méndez Ramírez y José Antonio Flores Tapia, quienes me han brindado su apoyo a lo largo de mi vida y han velado por mi bienestar, quiero dedicar este trabajo especialmente a mi madre a quien le tengo gran admiración, ya que me ha enseñado a nunca rendirme y a siempre luchar por mis sueños, por siempre buscar la forma de salir adelante y brindarnos a mis hermanas y a mí lo necesario para poder desarrollarnos personal y académicamente, por ser mi motivación y siempre estar a mi lado en los momentos en los que ni yo mismo creía en mí, por su infinito amor y gran corazón le estoy eternamente agradecido.

A mis hermanas: Paulina Flores Méndez y Daniela Flores Méndez, por todo el apoyo brindado, por creer en mí y por siempre estar a mi lado, para ser un ejemplo en su vida y que siempre luchen por lo que quieren.

A mi abuelita y a mi tío: Adela Ramírez Rodríguez y Alberto Flores Tapia, quienes aunque ya no están físicamente conmigo, sé que siempre me van a estar cuidando.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales.

A la Doctora Sylvia Patricia Fernández Pavía, por abrirme las puertas de su laboratorio y recibirme con la mejor disposición, así como por estar siempre pendiente en cada momento durante mi proceso de formación, por todos los consejos brindados.

Al Doctor Gerardo Rodríguez Alvarado por brindarme la confianza para trabajar en su laboratorio y ser parte de su equipo aún sin conocerme, así como la paciencia de trabajar conmigo.

A mi comité sinodal: Dr. Luis López Pérez, Dr. Alejandro Martínez Palacios, Dra. Edith Garay Serrano por haber sido parte de mi formación profesional y por su apoyo y consejos en cada momento requerido.

A mis diferentes profesores que participaron cada semestre en formarme lo que hoy en día soy (Dra. Melba, Dr. Mauricio, Dr. Luis López, Dra. Leticia F.P., M.C. Nuria, Dr. John Larsen).

A mis compañeros de laboratorio, de quienes aprendí mucho y con los que tuve diversas experiencias, las cuales me llevo con mucho cariño.

A mis amigos quienes me brindan su amistad incondicional, siempre estuvieron conmigo y me dieron consejos para seguir adelante.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. El cultivo del mango	3
2.1.1. Origen y distribución	3
2.1.2. Descripción morfológica	3
2.1.3. Principales variedades de mango en México	4
2.1.4. Panorama de la producción	5
2.1.4.1. Panorama mundial.....	5
2.1.4.2. Panorama nacional.....	5
2.1.5. Principales plagas del cultivo en México	6
2.1.5.1. Insectos Plaga	6
2.1.5.2. Enfermedades	6
2.2. Antracnosis	6
2.3. Especies de <i>Colletotrichum</i>	6
2.3.1. Clasificación taxonómica de <i>Colletotrichum</i>	7
2.3.2. Ciclo de vida.....	7
2.3.3. Síntomas y ciclo de la enfermedad	8
2.3.4. Manejo de la enfermedad	9
2.3.4.1. Control químico	10
2.3.4.2. Control biológico.....	10
2.4. Especies de <i>Trichoderma</i>	11
2.4.1. Aspectos generales.....	11

2.4.2. Clasificación taxonómica.....	12
2.4.3. Efecto de factores bióticos y abióticos en el desarrollo y eficacia de <i>Trichoderma</i>	12
2.4.4. Mecanismos de control.....	13
2.4.4.1. Antibiosis	13
2.4.4.2. Competencia.....	13
2.4.4.3. Micoparasitismo.....	14
2.5. Especies de <i>Bacillus</i>	14
2.5.1. Aspectos generales.....	14
2.5.2. Clasificación taxonómica.....	15
2.5.3. <i>Bacillus</i> como agente de control biológico	15
2.5.4. Mecanismos de control.....	16
2.5.4.1. Producción de lipopéptidos	16
2.5.4.2. Producción de enzimas líticas.....	16
2.5.4.3. Producción de sideróforos	17
2.6. Capsaicina	17
3. HIPÓTESIS	19
4. OBJETIVOS.....	19
4.1. Objetivo General	19
4.2. Objetivos Específicos.....	19
5. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1. Aislados de <i>Colletotrichum</i>	20
5.2. Pruebas de patogenicidad.....	21
Experimento 1	21
Experimento 2	22
5.3. Efecto de <i>Trichoderma</i> sobre el crecimiento de <i>Colletotrichum</i> spp.	23
5.4. Efecto de fungicidas biológicos sobre el crecimiento de <i>Colletotrichum</i> spp.....	24

5.5. Evaluación de capsaicina sobre el crecimiento de <i>Colletotrichum</i> spp.	26
5.6. Evaluación de fungicidas en frutos de mango	27
Experimento 1	27
Experimento 2	27
5.7. Estadística	30
6. RESULTADOS	31
6.1. Pruebas de patogenicidad.....	31
Experimento 1	31
Experimento 2	32
6.2. Efecto de <i>Trichoderma</i> sobre el crecimiento de <i>Colletotrichum</i>	34
6.3. Efecto de fungicidas biológicos sobre el crecimiento de <i>Colletotrichum</i> spp.....	37
6.4. Evaluación de la capsaicina sobre el crecimiento de <i>Colletotrichum</i> spp.	39
6.5. Evaluación de fungicidas en frutos de mango	41
7. DISCUSIÓN	43
8. CONCLUSIONES	48
9. LITERATURA CITADA.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de infección de <i>Colletotrichum</i> spp.....	8
Figura 2. Frutos de mango variedad Paraíso dentro de las cámaras húmedas sobre cajas de Petri para evitar el contacto directo con el papel húmedo.	22
Figura 3. Confrontaciones duales. T = <i>Trichoderma</i> , P = patógeno (<i>Colletotrichum</i>) en medio PDA	24
Figura 4. Frutos de mango utilizados en el experimento con áreas delimitadas marcadas con plumón.	28
Figura 5. Síntomas en frutos de mango variedad Kent inoculados con el método de herida.	31
Figura 6. Análisis del área de lesión provocada por los diferentes aislados utilizados.....	32
Figura 7. Síntomas observados en los frutos de mango variedad Paraíso inoculados con 3 métodos diferentes.	33
Figura 8. Confrontaciones duales de las cepas de <i>Trichoderma</i> spp. frente a los aislados de <i>Colletotrichum</i> spp. después de 6 días de crecimiento.	35
Figura 9. Porcentaje de inhibición causado por las cepas de <i>Trichoderma</i> spp. frente a los aislados de <i>Colletotrichum</i> spp después de 6 días de crecimiento.....	36
Figura 10. Análisis del porcentaje de inhibición desarrollado en las confrontaciones de cepas de <i>Trichoderma</i> spp. frente a aislados de <i>Colletotrichum</i> spp.....	37
Figura 11. Evaluación de Hiper-Lisis bajo dos métodos de aplicación frente a dos aislados de <i>Colletotrichum</i> spp. después de 10 días de crecimiento.	38
Figura 12. Porcentaje de inhibición causado por el fungicida Hiper-Lisis aplicado bajo los métodos de dispersión y aspersion frente a los aislados de <i>Colletotrichum</i> spp.	38
Figura 13. Análisis del porcentaje de inhibición desarrollado en los métodos de aplicación de fungicida frente a aislados de <i>Colletotrichum</i> spp.	39
Figura 14. Evaluación de capsaicina bajo 3 concentraciones micromolar frente a dos aislados de <i>Colletotrichum siamense</i> después de 8 días de crecimiento.	40
Figura 15. Porcentaje de inhibición causado por capsaicina a diferentes concentraciones frente a los aislados de <i>Colletotrichum</i> spp.....	40
Figura 16. Análisis del porcentaje de inhibición desarrollado con las diferentes concentraciones de capsaicina frente a aislados de <i>Colletotrichum</i> spp.	41
Figura 17. Mangos variedad Paraíso después de 7 días de la inoculación.	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Colletotrichum</i>	7
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de <i>Trichoderma</i>	12
Cuadro 3. Clasificación taxonómica de <i>Bacillus</i>	15
Cuadro 4. Aislados utilizados en los diferentes experimentos, lugar de colecta y especie de <i>Colletotrichum</i>	20
Cuadro 5. Concentraciones de capsaicina utilizadas para evaluar su efecto sobre el crecimiento de aislados de <i>Colletotrichum</i>	26
Cuadro 6. Fungicidas y concentraciones utilizadas en el experimento.....	28
Cuadro 7. Concentraciones de las suspensiones de esporas a partir de las cuales se estandarizó a una concentración de 1×10^6	29
Cuadro 8. Tratamientos utilizados en el experimento. Diferentes fungicidas frente a los aislados de <i>C. siamense</i> (MXJAL-448 y MXJAL-505) y <i>C. asianum</i> (MXJAL-493).....	29

RESUMEN

La producción de mango en el estado de Jalisco, representa una actividad económica muy importante, sin embargo, esta se ha visto afectada por la aparición de enfermedades pre cosecha afectando la calidad de los frutos. La antracnosis causada por el hongo fitopatógeno *Colletotrichum* spp. ha ocasionado grandes pérdidas para los productores. El manejo de esta enfermedad utilizando agroquímicos ha resultado ser poco eficaz ya que los patógenos llegan a desarrollar resistencia, además afectan la salud de los consumidores y ocasionan daños en el medio ambiente, es por esto que el control biológico representa una alternativa más amigable con el medio ambiente. El objetivo general del presente trabajo fue analizar la patogenicidad y virulencia de aislados de *Colletotrichum* spp. en frutos de mango en Jalisco y determinar la sensibilidad de estos a fungicidas biológicos comerciales y a capsaicina. En las pruebas de patogenicidad se evaluaron 10 aislados de *Colletotrichum*: MXJAL-436, MXJAL-444, MXJAL-448, MXJAL-458, MXJAL-463, MXJAL-474, MXJAL-484, MXJAL-493, MXJAL-497, MXJAL-505, en frutos de mango de la variedad Kent en estado de madurez fisiológica; observándose diferencias significativas para el diámetro de lesión, siendo los más virulentos los aislados MXJAL-448, MXJAL-458 y MXJAL-505 que pertenecen a la especie de *C. siamense*, mientras que el aislado MXJAL-493 de la especie de *C. asianum* resultó ser el menos virulento. Se encontraron diferencias significativas en porcentaje de inhibición de los aislados de *Colletotrichum* en confrontaciones con cepas de *Trichoderma*, siendo la cepa cercana a *T. atroviride* la que ocasionó mayores porcentajes de inhibición. El fungicida biológico comercial Hiper-Lisis mostró ser efectivo para inhibir el crecimiento de *C. siamense in vitro*, mostrando un rango de inhibición de 70.47% al 82.27% para el aislado MXJAL-505 y 59.78% a 82.34% para el aislado MXJAL-448. La capsaicina mostró un efecto inhibitorio sobre *Colletotrichum* siendo la concentración más alta (1600 μ M) la que ocasionó mayores porcentajes de inhibición con 38.31% para MXJAL-448 y 33.59% para MXJAL-505. Este es el primer reporte de *Colletotrichum asianum* y *C. siamense* como agentes causales de antracnosis en mango en Jalisco.

Palabras clave: *Trichoderma*, capsaicina, inhibición, control biológico, enfermedad

ABSTRACT

Mango production in the state of Jalisco represents a very important economic activity, however, this has been affected by the appearance of pre-harvest diseases affecting the quality of the fruits. Anthracnose caused by the phytopathogenic fungus *Colletotrichum* spp. has caused great losses for producers. The management of this disease using agrochemicals has proven to be ineffective since the pathogens develop resistance, in addition affects the health of consumers and damages the environment, this is why biological control represents a friendlier alternative with the environment. The general objective of this work was to analyze the pathogenicity and virulence of *Colletotrichum* spp. isolates in mango fruits in Jalisco and determine their sensitivity to commercial biological fungicides and capsaicin. In the pathogenicity tests, 10 *Colletotrichum* isolates were evaluated: MXJAL-436, MXJAL-444, MXJAL-448, MXJAL-458, MXJAL-463, MXJAL-474, MXJAL-484, MXJAL-493, MXJAL-497, MXJAL-505, in mango fruits of the Kent variety in a state of physiological maturity; observing significant differences for the diameter of the lesion, the most virulent isolates MXJAL-448, MXJAL-458 and MXJAL-505 belonging to the species *C. siamense*, while the isolate MXJAL-493 of the species of *C. asianum* turned out to be the least virulent. Significant differences were found in the percentage of inhibition of *Colletotrichum* isolates in confrontations with *Trichoderma* strains, being the strain close to *T. atroviride* the one that caused the highest percentages of inhibition. The commercial biological fungicide Hyper-Lisis proved to be effective to inhibit the growth of *C. siamense in vitro*, showing an inhibition range of 70.47% to 82.27% for the MXJAL-505 isolate and 59.78% to 82.34% for the MXJAL-448 isolate. Capsaicin showed an inhibitory effect on *Colletotrichum*, with the highest concentration (1600 μM) which caused the highest percentages of inhibition with 38.31% for MXJAL-448 and 33.59% for MXJAL-505. This is the first report of *Colletotrichum asianum* and *C. siamense* as causal agents of anthracnose in mango in Jalisco.

Keywords: *Trichoderma*, capsaicin, inhibito, biologic control, disease

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de mango desempeña un papel que destaca en el aspecto económico a nivel mundial ya que es una importante fuente de empleo, ingreso y divisas para los países productores (Rebollar *et al.*, 2000). Dentro de los países productores más grandes de este fruto encontramos a China, Filipinas, India, México, Paquistán y Tailandia con casi el 80% de la producción mundial (Gagnevin y Pruvost, 2001). El fruto de mango ocupa el tercer lugar a nivel mundial en cuanto a su producción e importancia (después del plátano y la piña), y el quinto de todos los frutos comercializados a nivel mundial (Rebollar *et al.*, 2000). La producción de mango en México se ha mantenido estable en los últimos 12 años, con una producción promedio de 1.5 millones de toneladas anuales, obteniéndose la producción más alta en el año 2006 con 1.7 millones de toneladas (SIAP, 2018). En 2016, México ocupó el quinto lugar entre los países productores con un volumen de 1.88 millones de t (SAGARPA, 2017), mientras que en 2018 la producción fue de 1.839 millones de t (SIAP 2018).

El cultivo de mango se enfrenta a diversos factores que pueden afectar su rendimiento, entre los que destacan problemas fitosanitarios (Prieto-Martínez *et al.*, 2005). Uno de estos problemas es la antracnosis, la cual es considerada la enfermedad más importante del fruto en pre y poscosecha (Litz, 2000), ya que puede ocasionar grandes pérdidas económicas al productor (Landro-Valenzuela *et al.*, 2016). Se estima que las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad pueden llegar a ser del 100% en regiones con altos niveles de humedad (Allende *et al.*, 2001). La antracnosis es causada por diversas especies del hongo *Colletotrichum*, ubicadas en los complejos de especies de *C. gloeosporioides*, responsable en la mayoría de los casos (Dodd *et al.*, 1997), *C. acutatum*, *C. truncatum*, *C. lineola*, *C. boninense*, entre otras (Crouch *et al.*, 2014). La enfermedad se manifiesta con lesiones semicirculares con hundimientos en forma de anillos concéntricos. La infección de los frutos puede ocasionar caída prematura; sin embargo, las pérdidas más importantes se presentan en la fase de

maduración fisiológica del fruto (Arauz, 2000) en la cual se observa el desarrollo de lesiones irregulares de color café oscuro a negro (Carrillo-Fasio *et al.*, 2005).

Dodd y colaboradores (1997) mencionan que el uso de fungicidas sistémicos y protectantes es el único medio efectivo para el control de la enfermedad, sin embargo, esta estrategia ha causado resistencia en los patógenos por lo cual se ha optado por utilizar otros métodos (Landeró-Valenzuela *et al.*, 2016). Entre éstos se encuentran extractos de plantas usados en pre y poscosecha (Bautista-Baños *et al.*, 2003) y microorganismos como *Rodhotorula minuta*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp. (Janisiewicz y Korsten, 2002; Spadaro y Gullino, 2004; Vos *et al.*, 2014) que se han usado como agentes de control biológico y actúan frente a diversos patógenos. El control biológico con microorganismos antagonistas es una alternativa para disminuir el impacto ecológico ocasionado por los fungicidas convencionales (químicos). Un ejemplo es un estudio realizado por Gutiérrez (2016), quien evaluó los mecanismos antagónicos de la levadura *Debaryomyces hansenii* contra *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya; por su parte Delgado y Vásquez (2010), utilizaron hongos endófitos del género *Nigrospora* spp. para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz. y Sacc.) en tomate de árbol. Siendo *Trichoderma* spp., el antagonista más estudiado para el control de fitopatógenos.

Durante los últimos cinco años, se ha presentado una alta incidencia de antracnosis en frutos de mango Kent y Keitt en precosecha en tres municipios en el estado de Jalisco. Esto ha ocasionado importantes pérdidas económicas para los productores. Por lo anterior, se planteó el presente estudio con el objetivo principal de evaluar la patogenicidad y virulencia de aislados de *Colletotrichum* spp. en frutos de mango en Jalisco y determinar la sensibilidad de estos a fungicidas biológicos comerciales y a capsaicina.

2. ANTECEDENTES

2.1. El cultivo del mango

2.1.1. Origen y distribución

Con base en estudios taxonomicos y moleculares recientes, se considera que el mango probablemente evolucionó en un área bastante grande que incluye la región norte-oeste de Myanmar, Bangladesh y la región norte-este de la India (Bompard 2009). Sin embargo, los mangos se pueden distinguir con respecto a su modo de reproducción y a sus centros de diversidad: por un lado esta el grupo de mangos subtropicales con semilla monoembriónica con su centro de diversidad en la India; mientras que el grupo de mangos tropicales con semilla poliembriónica tuvo su centro de diversidad en Sudeste de Asia, que incluye Malasia e Indonesia, principalmente (Mukherjee and Litz 2009). Este fruto se ha cultivado por más de 4,000 años en la India, lugar de donde se dispersó a otras áreas tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Prieto-Martínez *et al.*, 2005).

La diseminación de este cultivo fue un proceso lento, llegando a tierras nuevas siglos después de ser cultivado en las regiones de origen. Con la apertura de las rutas comerciales marítimas entre Europa y Asia, portugueses y españoles fueron los que introdujeron el cultivo a América (Flores-Estrada, 2014). En México el mango proveniente de Filipinas fue introducido en el siglo XVIII por los españoles, a principios del siglo XIX se introdujeron mangos monoembriónicos provenientes de las Antillas (Prieto-Martínez *et al.*, 2005). Durante los años 50 se empezaron a cultivar frutos provenientes de Florida, los cuales se distribuyeron por los estados del Pacífico y en las regiones tropicales de México (Prieto-Martínez *et al.*, 2005).

2.1.2. Descripción morfológica

Raíz: puede alcanzar una profundidad de 6 a 8 m (raíz principal), mientras las superficiales se extienden en un radio de hasta 10 m del tronco. Esta distribución le permite soportar condiciones de baja humedad (Rodríguez-Cedillos *et al.*, 2002).

Tallo: la forma de ramificación del árbol varía dependiendo del tipo de reproducción (por semilla o injerto). Por semilla, la ramificación es abundante y puede llegar a más de 40 m de altura. Por injerto, la ramificación es menor, su forma es simétrica y la copa es más o menos esférica (Rodríguez-Cedillo *et al.*, 2002).

Hojas: son simples, alternas, con un peciolo de 5 a 25 mm de largo que está hinchado en la base, lámina lanceolada u oblonga, base y ápice agudos, bordes ondulados, nervio central y nervios laterales (15 a 30) prominentes, haz firme y brillante de color verde, envés amarillo verdoso (Rodríguez-Cedillo *et al.*, 2002) la longitud varía de 12.5 a 37.5 cm de largo y de 2.5 a 12.5 cm de ancho (Tucuch-Cauich *et al.*, 2005).

Inflorescencias: es una panícula que puede variar de angosta a cónica y puede llegar hasta los 30 cm de largo (Tucuch-Cauich *et al.*, 2005).

Flor: las flores son hermafroditas y masculinas en la misma panícula, predominando estas últimas. La corola cuenta con 5 pétalos amarillos; entre la corola y el androceo hay un disco penta-lobulado, anular y carnoso (Prieto-Martínez *et al.*, 2005).

Fruto: es una drupa carnosa, que varía de forma, tamaño y color dependiendo del cultivar. El matiz básico es amarillo en la fruta madura, uniforme o con presencia de áreas verdes o rojas (Rodríguez-Cedillo *et al.*, 2002).

Semilla: es de forma ovoide u oblonga; la testa es fina y permeable; existen dos tipos de semillas, monoembriónica que tiene un embrión cigótico y poliembriónica con varios embriones nucelares (Rodríguez-Cedillo *et al.*, 2002).

2.1.3. Principales variedades de mango en México

Muchas son las variedades existentes de este fruto que tienen una gran importancia comercial en diversas partes del mundo. En nuestro país, las variedades que más se cultivan y aprovechan comercialmente son: Tommy Atkins, Haden, Manila, Kent, Keitt, Manzanillo Núñez, Ataulfo, Diplomático e Irwin

(Tucuch-Cauich *et al.*, 2005). Las principales zonas productoras se encuentran en las regiones costeras por lo que se considera que el 91% de la superficie cultivada se localiza en los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Veracruz (SAGARPA, 2000).

2.1.4. Panorama de la producción

2.1.4.1. Panorama mundial

El mango se cultiva en todo el mundo, se estima que la producción mundial de este fruto es de 42, 000, 000 t por año.

Dentro de los principales países productores de mango se encuentran la India con un volumen de producción de 18, 002, 000 t, lo que representa más del 42% de la producción mundial. Después de la India se encuentran China con un 10%, Tailandia con un 7%, Indonesia y México con un 5% (FAO, 2015; citado por Pat-Fernández *et al.*, 2017). Entre los principales países exportadores de mango se encuentran México con un 21%, India con 16%, Tailandia con 15% y Perú con 8%. En 2019 México exportó 402, 253 t de mango, mientras que para el primer semestre del 2020, ya se habían exportado 82,100 t (SADER, 2020).

2.1.4.2. Panorama nacional

En el país, los estados con mayor superficie sembrada de mango son Sinaloa con 30,095.87 h, Chiapas con 27,691.19 h, Nayarit con 25,221.60 h, Guerrero con 24,952.40 h y Michoacán con 22,926.56 h (SIAP, 2015; citado por Pat-Fernández *et al.*, 2017).

Chiapas, Guerrero, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa son los principales estados productores de mango. Estos cuatro estados acumulan el 73% de la producción nacional (SADER, 2020). El estado de Jalisco ocupa el lugar 13 entre las entidades productoras de este fruto, el Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) informó que al cierre de 2020 en Jalisco se contaba con 7, 769 h de mango y una producción de 110, 000 t (SADER, 2020).

2.1.5. Principales plagas del cultivo en México

2.1.5.1. Insectos Plaga

Entre los principales insectos plaga del mango dado los daños que ocasionan al cultivo se encuentran, la mosca de la fruta (*Anastrepha spp.*, *Ceratitis capitata*), trips (*Frankliniella parvula*, *Selenothrips rubrocinctus*), escamas del mango (*Cryosomphalus aonidium*, *Aonidiella aurantii*, *Coccus mangiferae*), hormigas (*Atta*), barrenadores del tallo (*Xyleborus spp.*, *Apate spp.*, *Batocera spp.*) (Rodríguez-Cedillo *et al.*, 2002; Prieto-Martínez *et al.*, 2005; Tucuch-Cauich *et al.*, 2005).

2.1.5.2. Enfermedades

Entre las enfermedades más importantes que afectan al cultivo de mango se encuentran, antracnosis (*Colletotrichum spp.*), cenicilla (*Oidium mangiferae*), roña (*Elsinoe mangiferae*), muerte descendente (*Lasiodiplodia theobromae*), cancro del tronco (*Ceratocystis fimbriata*) (Rodríguez-Cedillo *et al.*, 2002; Tucuch-Cauich *et al.*, 2005). Prieto Martínez *et al.* (2005) mencionan a la fumagina o negrilla (*Capnodium mangiferum*). Otero-Colina *et al.* (2010) resaltan a *Fusarium mexicanum* como el agente causal de malformaciones en mango en México. Otras enfermedades que pueden afectar al cultivo de mango son la mancha negra (*Alternaria alternata*) y la mancha negra bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *mangiferaeindicae*) (Manicom *et al.*, 1984).

2.2. Antracnosis

La antracnosis es una enfermedad causada por hongos del género *Colletotrichum* la cual afecta a una gran diversidad de especies frutícolas, entre ellas el mango. Es la principal enfermedad fungosa en regiones de clima húmedo, esta limita la producción ya que ocasiona grandes pérdidas de frutos en campo, al momento de la cosecha y poscosecha. En mango, el patógeno afecta hojas, ramas, inflorescencias y frutos (Páez Redondo, 2002).

2.3. Especies de *Colletotrichum*

Colletotrichum es uno de los patógenos de plantas de mayor importancia a nivel mundial ya que es el causante de la enfermedad antracnosis, la cual puede

presentarse en una gran variedad de hospedantes incluyendo cereales, legumbres, vegetales, cultivos perennes y frutales (Bailey y Jeger, 1992). La antracnosis genera pérdidas importantes en pre y postcosecha ya que se ocasiona una reducción en la calidad y cantidad de los frutos. Tales pérdidas pueden llegar a ser del 100% dependiendo de la especie de *Colletotrichum* y las condiciones ambientales (Landeró-Valenzuela *et al.*, 2016).

El género *Colletotrichum* se considera como el octavo grupo más importante de hongos patógenos de plantas en el mundo (Dean *et al.*, 2012). Este género incluye a más de 100 especies responsables de antracnosis en la mayoría de los cultivos destinados a la producción de alimentos, fibras y forrajes a nivel mundial. Dentro de estas especies podemos encontrar a *C. gloeosporioides*, *C. truncatum*, *C. graminicola*, *C. boninense*, entre otras (Crouch *et al.*, 2014).

2.3.1. Clasificación taxonómica de *Colletotrichum*

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Colletotrichum* (NCBI-Lifemap, 2020).

Reino: Fungi	Subclase: <i>Hypocreomycetidae</i>
Subreino: Dikarya	Orden: Glomerellales
Filo: Ascomycota	Familia: Glomerellaceae
Subfilo: Pezizomycotina	Género: <i>Colletotrichum</i>
Clase: Sordariomycetes	

2.3.2. Ciclo de vida

El ciclo de vida de *Colletotrichum* contempla dos posibles estados de reproducción con propágulos de morfología y disposición genética diferentes. La reproducción sexual se establece en cuerpos fructíferos denominados peritecios en los cuales se desarrollan las ascas y dentro de estas las esporas sexuales llamadas ascosporas y la fase asexual se desarrolla a través de un proceso de desarrollo de los conidios conocido como conidiogénesis dentro de los conidióforos en estructuras llamadas acérvulos (Anhuaman, 2010; Ceperos de García *et al.*, 2012).

Las especies de *Colletotrichum* se desarrollan en dos fases principales de nutrición, durante la colonización de la planta: la fase biotrófica o fase inicial es

corta y la planta crece de manera normal gracias a la falta de reconocimiento del patógeno, así obtiene alimento de las células vivas y se asegura la colonización en la planta; en la segunda fase o fase tardía necrótropa, comienza la aparición de síntomas específicos del hongo, con el incremento de la actividad enzimática y por consiguiente la degradación de la pared celular, en esta fase el alimento se obtiene de las células muertas (Cerón *et al.*, 2006).

2.3.3. Síntomas y ciclo de la enfermedad

En mango, *Colletotrichum* puede afectar hojas, ramas pequeñas, inflorescencias y frutos. En las hojas viejas se pueden observar manchas pardas oscuras o marrón con halo amarillo; en hojas jóvenes se presentan manchas pequeñas de coloración oscura y forma irregular que pueden unirse y formar áreas necróticas más extensas; en las ramas nuevas se observan manchas necróticas y a medida que la enfermedad avanza las ramas se secan y adquieren un color oscuro. En las panículas se observan manchas alargadas de coloración oscura, ocasionando la caída de las flores; en frutos cuajados (transición de flor a fruto en desarrollo) se presenta una coloración oscura y se momifican; en frutos inmaduros se observan manchas de color pardo claro y de aspecto aceitoso; en frutos maduros se aprecian manchas de color marrón oscuro, ligeramente hundidas en la superficie; la pulpa se deteriora (pudrición) inicialmente es blanda y después se endurece, esto por el efecto de toxinas del hongo, finalmente los frutos se pudren totalmente y se desprenden de la planta (Páez-Redondo, 2002).

Durante el proceso de infección, se desarrollan eventos progresivos como la adhesión al hospedante, germinación (incluyendo la formación de tubos germinativos), penetración (formación de apresorios melanizados) y nutrición (colonización mediante hifas intracelulares e hifas secundarias) y reproducción (Figura 1) (Cannon *et al.*, 2012).

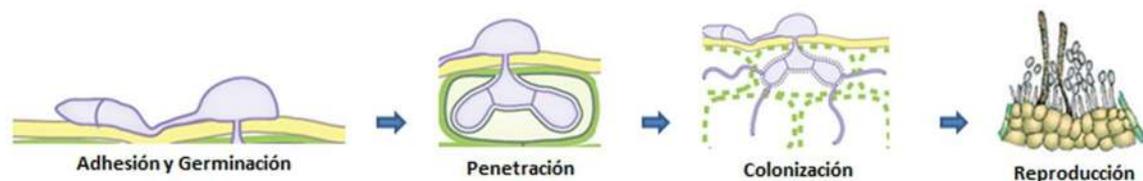


Figura 1. Proceso de infección de *Colletotrichum spp.* (Modificado de Rojo-Báez *et al.*, 2017)

Las especies de *Colletotrichum* utilizan dos estrategias principales de infección; en la primera se desarrolla el tubo germinativo del conidio, el cual penetra de manera directa la epidermis del hospedero; la segunda, presente con mayor frecuencia, se basa en el desarrollo del tubo germinativo del conidio, el cual después genera un apresorio con el cual penetra por acción mecánica y la enzima cutinasa, y posteriormente desarrolla una punta infectiva que penetra la pared de las células epidérmicas (Binyamini y Schiffmann-Nadel, 1972; Carrillo *et al.*, 2002; O'Connell *et al.*, 2012).

Para que el apresorio se forme se requiere de una serie de señalizaciones que se producen al entrar en contacto el conidio con la cutícula del hospedante. En frutos verdes, la hifa penetrante del apresorio se desarrolla dentro de la cutícula y en las capas superiores de las células epidérmicas, sin inducir reacciones visibles, esto se debe a la expresión del gen CgDN3, que le permite evadir el reconocimiento por parte del hospedero (Podila *et al.*, 1993; Stephenson *et al.*, 2000; Rodríguez-López *et al.*, 2009; Eloy *et al.*, 2015;). En condiciones de madurez fisiológica de los frutos, el apresorio permite al hongo que se mantenga adherido a la superficie del hospedante, en estado latente, sin causar afecciones, hasta que se presentan las condiciones adecuadas para la infección. Por esta razón, este patógeno es hemibiotrófico (biotrófico y necrotrófico) (Eckert y Ogawa, 1985; Rodríguez-López *et al.*, 2013).

Durante la maduración del fruto ocurre el cambio de biotrófico a necrotrófico, debido al aumento del etileno, la disminución de compuestos antifúngicos preformados en el fruto, entre otras señalizaciones, lo que ocasiona que se dé la liberación del estado de latencia. Al activarse el estado necrotrófico el

hongo produce enzimas que degradan la pared celular del hospedero ocasionando la enfermedad de la antracnosis (Alkan et al., 2015; Siddiqui y Ali, 2014).

2.3.4. Manejo de la enfermedad

El control de las enfermedades producidas por *Colletotrichum* depende principalmente de prácticas culturales como el uso de semillas libres de enfermedades, rotación de cultivos, variedades resistentes, remoción de ramas muertas y frutos infectados. Otros métodos utilizados para el control de estas enfermedades son los tratamientos físicos (tratamientos hidrotérmicos, atmósferas modificadas); control químico (fungicidas) y control biológico (extractos de plantas, microorganismos antagonistas) (Phoulivong, 2011; Landero-Valenzuela *et al.*, 2016).

2.3.4.1. Control químico

Dentro del control químico, los fungicidas de la clase benzimidazol y estrobilurinas se usan ampliamente en el campo (Torres-Calzada *et al.*, 2011). Otros fungicidas que son utilizados para el control de la antracnosis son azoxystrobin, clorotalonil, mancozeb y tiabendazol (Santamaría-Basulto *et al.*, 2011). Sin embargo, el uso desmedido de estos productos ha inducido resistencia en las cepas de *Colletotrichum*, por lo tanto, se ha optado por adoptar métodos de control más amigables con el ambiente y para los consumidores, tal es el caso del control biológico (Rojo-Báez *et al.*, 2017).

2.3.4.2. Control biológico

Existen ejemplos de control biológico de la antracnosis en manzana, papaya, aguacate, mango (Carrillo-Fasio *et al.*, 2005; Landero-Valenzuela *et al.*, 2016).

La bacteria *Bacillus subtilis* es ampliamente utilizada para el control de la antracnosis ya que posee un gran potencial antagonista por competencia y antibiosis (Rojo-Báez *et al.*, 2017). En un estudio realizado por Carrillo-Fasio *et al.* (2005), se evaluó la efectividad de *B. subtilis* y la levadura *Rhodotorula minuta* y su combinación en aplicaciones precosecha para el control de antracnosis (ocasionada por *C. gloeosporioides*) en mango a nivel postcosecha, encontrando

que la combinación de ambos microorganismos superó al control químico (benomil), lo que indicó su potencial para usarse de manera comercial.

Juárez (2001) reportó una extensiva búsqueda de microorganismos antagonistas al agente causal de la antracnosis en mango, en la cual se aislaron 120 cepas (5 levaduras y 115 bacterias) de la filósfera de mango, de estos aislados dos cepas, una bacteria (*Bacillus subtilis*) y una levadura (*Rodhotorula minuta*) presentaron una mayor actividad antagonista en ensayos *in vitro* contra *C. gloeosporioides*. Mendoza-Herrera *et al.* (2020), aislaron actinomicetos nativos de suelo en huertos de mango en el estado de Nayarit, obteniendo 112 aislados, de los cuales 25 presentaron actividad antagónica contra *Colletotrichum* sp.

Trichoderma spp. presentan un prometedor empleo como agentes de control biológico. Gaviria *et al.* (2013), evaluaron la eficacia de productos biológicos a base de *Trichoderma lignorum* y *T. harzianum* para el control de *Colletotrichum* spp. en mora de castilla.

Otra de las alternativas para el control de la antracnosis es la aplicación de extractos vegetales (Ippolito *et al.*, 2005). El uso de los extractos vegetales con propiedades antifúngicas presentan diversas ventajas ya que no generan resistencia en los patógenos, son biodegradables y no contaminan (Regnault *et al.*, 2004). Loaiza y Rivera (2000), probaron el extracto de cacahuananche (*Gliricidia sepium*) contra *C. gloeosporioides*, el cual redujo la severidad de la antracnosis en un 94% sobre frutos de papaya.

2.4. Especies de *Trichoderma*

2.4.1. Aspectos generales

Los hongos del género *Trichoderma* se encuentran presentes en diferentes ambientes de manera natural, especialmente en la presencia de materia orgánica o desechos vegetales en descomposición (Martínez *et al.*, 2013). Su requerimiento nutricional es bajo y para su crecimiento el rango de temperatura óptimo es de 25 a 30°C (Sandle, 2014). Gracias a la capacidad que tiene para desarrollarse en diversos medios se facilita su producción de manera masiva para usarse en la

agricultura (Ramos *et al.*, 2008), además la producción de metabolitos secundarios y su adaptación a diversas condiciones ambientales hacen posible su uso en la industria biotecnológica (Martínez *et al.*, 2013).

Diversas especies de este género están asociadas a la rizósfera de plantas, por lo cual pueden actuar como promotores del crecimiento y desarrollo de las plantas mediante la producción de auxinas y giberilinas, también pueden producir ácidos orgánicos (glucónico, fumárico, y cítrico), que ayudan a la solubilización de nutrientes esenciales para el metabolismo vegetal (Torres-De la Cruz *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2017).

Especies del género *Trichoderma* desempeñan un papel importante para las plantas ya que poseen propiedades micoparasitarias y antibióticas que contribuyen al control de hongos fitopatógenos, por esto se han catalogado como excelentes agentes de control biológico de hongos causantes de enfermedades en diferentes plantas (Argumedo-Delira *et al.*, 2009).

2.4.2. Clasificación taxonómica

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de *Trichoderma* (NCBI-Lifemap, 2020).

Reino: Fungi	Subclase: Hypocreomycetidae
Subreino: Dikarya	Orden: Hypocreales
Filo: Ascomycota	Familia: Hypocreaceae
Subfilo: Saccharomyceta	Género: <i>Trichoderma</i> Persoon
Clase: Sordariomycetes	

2.4.3. Efecto de factores bióticos y abióticos en el desarrollo y eficacia de *Trichoderma*

Es importante conocer la influencia que tienen diversos factores sobre las especies de *Trichoderma* para determinar su posible aplicación como agentes de control biológico y así obtener la mayor eficacia en el manejo de las enfermedades. Dentro de estos factores podemos encontrar los abióticos como la temperatura, humedad relativa, pH, iluminación y los diferentes sustratos en los que crecen (Harman, 2000). Durante la interacción con factores bióticos, como son las raíces de las plantas, las especies de *Trichoderma* presentan efectos

benéficos entre los que destacan la promoción del crecimiento y aumento de la resistencia sistémica, ejerciendo efectos sobre el desarrollo y productividad de las plantas, actuando de manera indirecta sobre los patógenos (Harman, 2006).

2.4.4. Mecanismos de control

La capacidad antagónica de *Trichoderma* es muy variable y va a depender de la especificidad de la cepa y de sus métodos de acción; esto quiere decir que pueden existir aislados con mayor eficacia para el control de agentes patógenos (Martínez *et al.*, 2013).

Las propiedades antagónicas de *Trichoderma* están basadas en la activación de diversos mecanismos de acción que regulan el desarrollo de hongos fitopatógenos, entre estos, los principales son la antibiosis, competencia (espacio y nutrientes) y micoparasitismo. Otros mecanismos conocidos que actúan de manera indirecta son la promoción del crecimiento vegetal y la inducción de respuestas de defensa en la planta (de Aguilar *et al.*, 2014; Sandle, 2014; Vargas-Hoyos y Gilchrist-Ramelli, 2015).

2.4.4.1. Antibiosis

La antibiosis es la acción en donde se inhibe el desarrollo de un agente patógeno o se causa la muerte de este mediante la producción de antibióticos o metabolitos tóxicos producidos por un organismo antagónico. Muchas cepas de *Trichoderma* producen metabolitos secundarios que tienen efecto inhibitorio sobre otros microorganismos sin establecer un contacto físico (Hjeljord y Tronsmo, 1998). Se han identificado diversos compuestos del tipo de las alquipironas (6- α -pentil-pirona), isonitrilos (isonitrina), poliquétidos (harzianolida), peptabioles (trichodermina), dicetopiperacinas (gliovirina y gliotoxina), sesquiterpenos (ácido heptelídico) y esteroides (viridina) (Howell, 2003; Ghisalberti y Sivasithamparam, 1991). Algunas especies de *Trichoderma* producen compuestos antifúngicos que actúan contra *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii* ocasionando la desintegración de las hifas (Martínez *et al.*, 2013).

2.4.4.2. Competencia

Para que exista competencia debe haber escasez o limitación de un requerimiento (espacio y/o nutrientes), por lo tanto, la competencia se puede definir como el comportamiento desigual de dos o más organismos ante un mismo requerimiento, siempre y cuando la utilización del mismo por uno de ellos, reduzca la disposición necesaria para los demás (Martinez *et al.*, 2013). *Trichoderma* compete por nutrientes como carbono, nitrógeno y hierro (Sivan y Chet, 1989), colonizan de manera rápida el suelo y evitan la proliferación de otros organismos (Inbar y Chet, 1997). El rápido crecimiento es una de las características más importantes de *Trichoderma*, lo que le permite competir por espacio y nutrientes en condiciones *in vitro* (Reyes *et al.*, 2008). Barros y colaboradores (1995), encontraron una disminución del crecimiento de *C. lindemuthianum* y alteraciones en la morfología del patógeno por la acción de diferentes aislados de *Trichoderma*, potenciado por su alta velocidad de crecimiento ya que observaron sobreposiciones de las hifas de *Trichoderma* sobre las colonias analizadas.

2.4.4.3. Micoparasitismo

El micoparasitismo es una simbiosis entre organismos en la cual intervienen enzimas extracelulares como celulasas y quitinasas (Lorito *et al.*, 1990). Harman (2000), menciona que este es un proceso muy complejo que involucra una serie de etapas que van desde el crecimiento del antagonista hacia el patógeno, un proceso de enrollamiento en las hifas del hospedante y degradación de las hifas. Las enzimas desempeñan un papel importante dentro del micoparasitismo, entre ellas la β -1,3 glucanasa la cual se considera fundamental ya que degrada la pared celular de los patógenos (Sanz *et al.*, 2005).

2.5. Especies de *Bacillus*

2.5.1. Aspectos generales

Las especies de *Bacillus* se encuentran distribuidas ampliamente a nivel mundial debido a su capacidad de producir endosporas, lo que les confiere resistencia y es gracias a esto que se pueden encontrar en diversos ecosistemas, tanto acuáticos como terrestres, e incluso en ambientes bajo condiciones

extremas (Tejera-Hernández *et al.*, 2011). La mayoría de especies de *Bacillus* son saprófitas por lo cual se considera que el suelo es el principal reservorio de este género bacteriano (McSpadden, 2004).

El género *Bacillus* destaca por su crecimiento aerobio o en ocasiones anaerobio facultativo, son bacterias Gram positivas, de morfología bacilar, poseen flagelos que permiten su movilidad, su tamaño es variable (0.5 a 10 µm), su crecimiento óptimo ocurre en pH neutro, su intervalo de crecimiento es muy amplio, aunque la mayoría de las especies crecen entre 30 y 45 °C, su diversidad metabólica le confiere la capacidad de actuar como promotores del crecimiento vegetal y como agentes de control de patógenos (Tejera-Hernández *et al.*, 2011).

2.5.2. Clasificación taxonómica

Cuadro 3. Clasificación taxonómica de *Bacillus* (Maughan y van der Auwera, 2011).

Reino: Bacteria
Filo: Firmicutes
Clase: Bacilli
Orden: Bacillales
Familia: Bacillaceae
Género: <i>Bacillus</i>

2.5.3. *Bacillus* como agente de control biológico

Una gran diversidad de especies del género *Bacillus* han demostrado tener actividad antagónica frente a diversos organismos patógenos que afectan a cultivos agrícolas, como maíz, arroz, frutales, entre otros (Wang *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015). En la actualidad diversas especies de este género (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. licheniformis*), son ampliamente estudiadas para reducir la incidencia de enfermedades de importancia agrícola (Raaijmakers y Mazzola, 2012). Entre los principales mecanismos mediante los cuales estas cepas evitan el establecimiento y desarrollo de agentes fitopatógenos encontramos la excreción de antibióticos, producción de sideróforos y producción de enzimas líticas, otros mecanismos que se pueden encontrar son la producción de toxinas e inducción de la resistencia sistémica de la planta (Layton *et al.*, 2011; Tejera-Hernández *et al.*, 2011).

2.5.4. Mecanismos de control

2.5.4.1. Producción de lipopéptidos

Una de las características más importantes del género *Bacillus* es su capacidad de producir una gran diversidad de antibióticos con el potencial para inhibir el crecimiento de agentes patógenos, entre estos, los lipopéptidos cíclicos no ribosomales han sido los más estudiados (Villareal-Delgado *et al.*, 2018), dentro de estos, las familias de las iturinas, fengicinas y surfactinas, han sido ampliamente estudiadas por su actividad antibacteriana y antifúngica (Meena y Kanwar, 2015). La actividad antimicrobiana de estos lipopéptidos tiene lugar mediante la interacción de estos con la membrana citoplasmática de las células bacterianas o fúngicas, provocando la formación de poros lo que ocasiona la muerte celular de los organismos fitopatógenos (Aranda *et al.*, 2005; Gong *et al.*, 2006). Además de la antibiosis, los lipopéptidos influyen en el establecimiento de *Bacillus* sobre la planta hospedera mediante la regulación de procesos celulares como motilidad y formación de biopelículas por lo cual se da el control eficiente de las enfermedades (Choudhary y Jhori, 2009; Xu *et al.*, 2013).

2.5.4.2. Producción de enzimas líticas

La producción de enzimas que participan en la degradación de la pared celular de los agentes fitopatógenos es uno de los mecanismos de control que más se ha documentado, especialmente frente a agentes patógenos de origen fúngico (Villareal-Delgado *et al.*, 2018). La producción de enzimas líticas como quitinasas y β -glucanasas excretadas por los agentes de control biológico, incluyendo el género *Bacillus*, han demostrado tener el potencial para inhibir agentes patógenos de origen fúngico (Compant *et al.*, 2005), ya que degradan los principales polisacáridos que conforman la pared celular de hongos. En la actualidad existen diversos estudios que reportan la actividad antifúngica *in vitro* de estas enzimas obtenidas de cepas del género *Bacillus* (Kishore *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2010; Shafi *et al.*, 2017). En un estudio realizado por Ruiz-Sánchez *et al.*

(2014) se demostró la capacidad de inhibición en el crecimiento de *C. gloeosporioides* por parte de *B. subtilis*.

2.5.4.3. Producción de sideróforos

Los sideróforos son metabolitos secundarios que actúan secuestrando el hierro del medio como consecuencia de su elevada disociación por este metal (Villareal-Delgado *et al.*, 2018). Una gran diversidad de cepas pertenecientes al género *Bacillus* con capacidad de control biológico ha mostrado ser capaces de sintetizar sideróforos, regulando la concentración de hierro en el medio, ocasionando que este metal no se encuentre disponible en grandes cantidades para los organismos patógenos afectando su crecimiento (Scharf *et al.*, 2014).

2.6. Capsaicina

La capsaicina es un compuesto orgánico nitrogenado, de naturaleza lipídica, componente activo de los chiles picantes (*Capsicum* spp.). A esta junto con otras sustancias relacionadas se les conoce como capsaicinoides. Son muchas las propiedades que se le atribuyen a este compuesto, se ha reportado su utilidad en problemas cardiovasculares, enfermedades crónicas degenerativas, estimulante, digestiva, así como su capacidad de reducir los riesgos de contraer cáncer y como bactericida (Moreno *et al.*, 2012).

Este compuesto se encuentra principalmente en las semillas y membranas del género *Capsicum* y siempre está acompañado de otros capsaicinoides. En el fruto de chile, la capsaicina y dihidrocapsaicina son los capsaicinoides predominantes, representando del 80 al 90% de su concentración (Govindarajan y Sathyanarayana, 1991).

Se ha reportado que los efectos de la capsaicina pueden inducir daño oxidativo del ADN, por lo tanto, puede tener el potencial para evitar la reproducción de hongos fitopatógenos (Singh *et al.*, 2001). Vázquez-Fuentes *et al.* (2021), demostraron que la capsaicina a diferentes concentraciones es capaz de inhibir el crecimiento de *Colletotrichum* en diferentes porcentajes.

Se sospecha que puede ocasionar grandes cambios histológicos al usarlo en conjunto con otros compuestos debido a su alta actividad (Echenique, 2016). Se ha demostrado que la inhibición del crecimiento de algunos hongos ocasionada por la capsaicina es estadísticamente igual a la inhibición provocada por el fungicida captán (Eich, 2008).

3. HIPÓTESIS

Los aislados de *Colletotrichum* spp. obtenidos de frutos de mango con síntomas de antracnosis son patógenos en mango, presentan diferencias en virulencia y difieren en su sensibilidad a diferentes productos biológicos y a capsaicina.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Analizar la patogenicidad y virulencia de aislados de *Colletotrichum* spp. en frutos de mango en Jalisco y determinar la sensibilidad de estos a fungicidas biológicos comerciales y a capsaicina.

4.2. Objetivo Específicos

- 1) Comparar la patogenicidad y virulencia de aislados de *Colletotrichum* spp. en frutos de mango maduros.
- 2) Determinar la sensibilidad de aislados de *Colletotrichum* spp. a fungicidas biológicos y a capsaicina, *in vitro*.
- 3) Evaluar el efecto de *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento de aislados de *Colletotrichum* spp., *in vitro*.
- 4) Determinar el efecto de fungicidas biológicos sobre *Colletotrichum*, en frutos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Aislados de *Colletotrichum*

Se utilizaron 10 aislados de *Colletotrichum* previamente obtenidos de frutos de mango (variedad Kent y Keitt) durante el 2018 y que correspondían a 2 especies: MXJAL-436, MXJAL-444, MXJAL-448, MXJAL-458, MXJAL-463, MXJAL-474, MXJAL-484, MXJAL-493, MXJAL-497, MXJAL-505 (Cuadro 4). Los aislados se encuentran en la colección de hongos y oomicetos del Laboratorio de Patología Vegetal, UMSNH.

Cuadro 4. Aislados utilizados en los diferentes experimentos, lugar de colecta y especie de *Colletotrichum*.

Código LABPV	Código de campo	Municipio	Huerta	Localidad	Especie
MXJAL-436	S1M5C	Cihuatlán	Jaluco huerta 1	19°15'48.7" N 104°41'36.9" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-444	S1M11C1	Cihuatlán	Jaluco huerta 1	19°15'48.7" N 104°41'36.9" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-448	S1M15P	Cihuatlán	Jaluco huerta 1	19°15'48.7" N 104°41'36.9" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-458	S2M3P	Cihuatlán	Jaluco huerta 2	19°15'44.1" N 104°41'18.7" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-463	S2M8C1	Cihuatlán	Jaluco huerta 2	19°15'44.1" N 104°41'18.7" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-474	S2M15C	Cihuatlán	Jaluco huerta 2	19°15'44.1" N 104°41'18.7" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-484	S3M2C	La Huerta	Rancho Los Cascabeles	19°30'6.9" N 104°34'3.6" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-493	S3M10C	La Huerta	Rancho Los Cascabeles.	19°30'6.9" N 104°34'3.6" W	<i>C. asianum</i>
MXJAL-497	S4M7C	La Huerta	Agua Caliente	19°30'41.6" N 104°34'1.3" W	<i>C. siamense</i>
MXJAL-505	S4M12C1	La Huerta	Agua Caliente	19°30'41.6" N 104°34'1.3" W	<i>C. siamense</i>

5.2. Pruebas de patogenicidad

Experimento 1

Los 10 aislados que se describen en el Cuadro 4 se reactivaron directamente de la colección sembrando un disco en cajas Petri de plástico de 90 x 15 mm con medio Papa Dextrosa Agar (PDA), e incubándose a 26 °C en oscuridad durante 7 días para obtener inóculo.

Se colectaron frutos de mango de la variedad Kent en una huerta ubicada en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, en estado de madurez fisiológica, durante el mes de junio de 2019. Los frutos fueron lavados con una solución jabonosa, y enjuagados con agua corriente y agua desionizada, para eliminar residuos de polvo. Posteriormente, los frutos se desinfectaron superficialmente asperjándolos con alcohol al 70% y se dejaron secar. A cada mango, se le hicieron dos orificios en el pericarpio con un sacabocados de 6 mm de diámetro, previamente esterilizado. En cada uno de los orificios se colocó un disco de medio con micelio de cada uno de los 10 aislados. En el caso del control, se colocó un disco que contenía únicamente PDA. Los frutos inoculados se incubaron durante 14 días a 25 °C, en cámara húmeda que consistieron en recipientes de plástico con toallas de papel humedecidas en su interior.

Se hizo la caracterización del daño causado por cada aislado 14 días después de la inoculación al medirse el diámetro de cada lesión a partir del borde en dos direcciones (líneas perpendiculares) con una cinta métrica. Se calculó el diámetro de lesión promedio en cm^2 . Para llevar a cabo los postulados de Koch, se hicieron reaislamientos a partir de las lesiones. Las colonias de los aislados recuperados se compararon con el morfotipo del cultivo inicialmente inoculado. Se emplearon un total de 55 frutos, 5 por cada tratamiento. El ensayo se realizó por duplicado.

Experimento 2

Se realizaron ensayos para evaluar la virulencia de los aislados MXJAL-463 y MXJAL-484 (correspondientes a *C. siamense*), los cuales en el experimento anterior mostraron un diámetro de lesión similar y lesiones parecidas a las de antracnosis en campo, este fue el criterio a considerar para su selección. Se utilizaron 3 métodos de inoculación.

Los aislados se sembraron en medio PDA, bajo condiciones de oscuridad durante 7 días para obtener inóculo. Transcurrido este tiempo se obtuvo una suspensión agregando agua estéril a las cajas para desprender los conidios. Se cuantificó la concentración de conidios en la suspensión de cada aislado utilizando una cámara de Neubauer y se estandarizaron a una concentración: 1×10^6 conidios/mL⁻¹.

Se utilizaron frutos de la variedad Paraíso para evaluar si los aislados de *Colletotrichum* seleccionados eran patogénicos en otras variedades y para comparar el desarrollo de la enfermedad utilizando otros métodos de inoculación. Los frutos se adquirieron en un supermercado en Morelia, Michoacán. Se siguió el mismo procedimiento descrito en el experimento uno, con una modificación. Los frutos se colocaron sobre cajas Petri dentro de la cámara húmeda para que no estuvieran en contacto directo con el papel humedecido (Fig. 2).



Figura 2. Frutos de mango variedad Paraíso dentro de las cámaras húmedas sobre cajas de Petri para evitar el contacto directo con el papel húmedo.

En los frutos se delimitó un área rectangular de 5 x 4 cm, sobre su superficie marcándolas con un plumón y en esa área se inocularon utilizando 3 métodos:

- 1) Se asperjó el área marcada con una suspensión de esporas.
- 2) Se colocó un algodón impregnado con la suspensión de esporas sobre el área marcada.
- 3) Se realizó una punción de 1 mm de profundidad con un alfiler estéril en el centro del área marcada, y se asperjó con la suspensión de esporas.

Los controles de cada tratamiento, se inocularon con agua desionizada estéril.

Las cámaras húmedas se incubaron a 25 °C durante 7 días en oscuridad. Después de ese tiempo se evaluó la aparición de síntomas observando la aparición de manchas y se calculó el área enferma en cm² utilizando el software ImageJ. Se utilizaron 3 métodos de inoculación y 3 inóculos (2 aislados y el control), dando un total de 9 tratamientos (método/inóculo). Se hizo por duplicado, teniendo como unidad experimental a los frutos de mango.

5.3. Efecto de *Trichoderma* sobre el crecimiento de *Colletotrichum* spp.

Se realizó un experimento de confrontaciones duales utilizando dos cepas de *Trichoderma*: HCH-62 (filogenéticamente cercana a *T. atroviride*) aislada de hojas de *Heliconia*, y THCOM1 (*T. harzianum*) una cepa comercial. Los cinco aislados de *Colletotrichum* spp. fueron: MXJAL-436, MXJAL-448, MXJAL-463, MXJAL-493 y MXJAL-505, los cuales se eligieron de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de patogenicidad y con ayuda del análisis BLAST (ITS y GPDH), el cual indicó que pertenecen a las especies de *C. siamense* y *C. asianum*.

Los aislados de *Trichoderma* y de *Colletotrichum* se crecieron en cajas Petri de 100 x 15 mm con PDA a 26 °C en oscuridad durante 7 días.

Para este experimento se utilizó la técnica establecida por Barakat (2014). Inicialmente se colocó un disco de 6 mm de diámetro con crecimiento de micelio del patógeno en un extremo de una caja Petri con medio PDA, a 3 cm de distancia se colocó un disco de 6 mm de diámetro con crecimiento de micelio de la cepa de

Trichoderma (Fig. 3). En el caso del control se colocó un disco de 6 mm de diámetro con crecimiento de micelio del patógeno en el centro de cajas Petri con PDA. Los cultivos se incubaron a 26 °C en oscuridad.

Posteriormente se registró el crecimiento radial del patógeno en dos direcciones (líneas perpendiculares) a los 4, 5 y 6 días posteriores a la inoculación. El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente fórmula:

$$I (\%) = (C - T) / C (100)$$

I = % de inhibición.

C = diámetro del crecimiento radial del patógeno en la caja control.

T = diámetro del crecimiento radial del patógeno en presencia de *Trichoderma*.

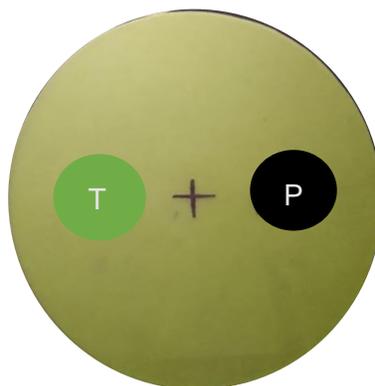


Figura 3. Confrontaciones duales. T = *Trichoderma*, P = patógeno (*Colletotrichum*) en medio PDA

5.4. Efecto de fungicidas biológicos sobre el crecimiento de *Colletotrichum* spp.

Se realizó un ensayo para evaluar el efecto de un fungicida biológico (HiperLisis) (*Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis*+ *Pseudomonas fluorescens*) sobre el crecimiento de dos aislados de *C. siamense*, MXJAL-448 y MXJAL-505. Los aislados de *Colletotrichum* se seleccionaron con base en la especie a la que pertenecen y en el daño que estos ocasionaron en los frutos de mango del primer experimento de pruebas de patogenicidad.

Los aislados se crecieron en cajas Petri de plástico de 90 x 15 mm con PDA a 26 °C en oscuridad durante 7 días para obtener inóculo. Se utilizó el fungicida biológico (Hiper-Lisis) utilizando dos métodos de aplicación para su evaluación.

En el primer método se preparó una solución de fungicida en un vaso de precipitado agregando 20 µL del fungicida y 1 mL de agua desionizada estéril. De esta solución se agregaron 100 µL en caja Petri con PDA y se dispersaron con ayuda de una varilla de cristal estéril, se dejó por dos minutos para que se absorbiera en el medio, posteriormente se inoculó un disco de 6 mm de diámetro con crecimiento de micelio del patógeno, en el centro de la caja. En el caso del control se utilizó agua desionizada estéril y se colocó un disco de 6 mm con micelio del patógeno; se incubaron a 26 °C en oscuridad durante 10 días. El experimento se realizó con 3 repeticiones.

En el segundo método se utilizaron cajas Petri con PDA, en las cuales se colocaron 4 discos de papel filtro estériles a una distancia de 3 cm del centro. Los discos se humedecieron previamente con 5 µL del fungicida.

Posteriormente se colocó un disco de 6 mm de diámetro con crecimiento de micelio del patógeno en el centro de la caja. En el caso del control los discos se humedecieron con agua destilada estéril. Los cultivos se incubaron a 26 °C en oscuridad durante 10 días. Se utilizaron 3 repeticiones por tratamiento.

El crecimiento radial del patógeno se midió en dos direcciones (líneas perpendiculares) a los 6, 8 y 10 días posteriores a la inoculación. El porcentaje de inhibición se calculó de manera similar a como se indicó en el experimento previo con la siguiente fórmula:

$$I (\%) = (C - T) / C (100)$$

I = % de inhibición.

C = diámetro del crecimiento radial del patógeno en la caja control.

T = diámetro del crecimiento radial del patógeno en presencia del fungicida biológico.

5.5. Evaluación de capsaicina sobre el crecimiento de *Colletotrichum* spp.

Este experimento se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología Molecular de Plantas del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la UMSNH, a cargo del Dr. Homero Reyes de la Cruz.

Se utilizaron los aislados de *Colletotrichum* MXJAL-448 y MXJAL-505. Se crecieron en cajas Petri de plástico de 90 x 15 mm con PDA a 26 °C en oscuridad durante 7 días para obtener inóculo. Para este experimento se utilizó el compuesto comercial capsaicina (ABX-I) proporcionada por Applied Biotech SA de CV, México. Este compuesto está registrado y patentado (WO-2016/171538-A1).

El compuesto se agregó al medio de cultivo antes de vaciarse en cajas Petri, utilizando 3 concentraciones 400, 800, 1600 micromolar (μM).

Se preparó medio PDA al cual se le agregó una cantidad del stock de capsaicina (capsaicina comercial y DMSO) previamente preparado dependiendo de la concentración y se vació en cajas Petri de 100 x 15 mm. Los tratamientos se prepararon como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Concentraciones de capsaicina utilizadas para evaluar su efecto sobre el crecimiento de aislados de *Colletotrichum*.

Concentración	Cantidad de capsaicina
400 μM	160 μl
800 μM	320 μl
1600 μM	640 μl

En las cajas con cada concentración del compuesto comercial de capsaicina, se realizó la siembra del patógeno, colocándose un disco de medio con micelio en la zona central de la caja Petri. Los cultivos se incubaron a 25 °C en oscuridad durante 7 días. El experimento se realizó con tres repeticiones. El aislado MXJAL-505 mostró un crecimiento muy lento por lo que se dejó crecer durante 8 días.

Se registró el crecimiento radial del patógeno en dos direcciones (líneas perpendiculares) diariamente durante 7 días y para el aislado MXJAL-505 durante 8 días. Posteriormente se calculó el porcentaje de inhibición.

El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente fórmula:

$$I (\%) = (C - T) / C (100)$$

I = % de inhibición.

C = diámetro del crecimiento radial del patógeno en la caja control.

T = diámetro del crecimiento radial del patógeno en presencia de la capsaicina.

5.6. Evaluación de fungicidas en frutos de mango

Experimento 1

Material vegetal. Se colectaron frutos de mango de la variedad Kent en estado de madurez fisiológica de una huerta ubicada en el municipio de Cihuatlán, Jalisco durante septiembre de 2020. Los frutos se lavaron con agua jabonosa y se tallaron durante 10 seg con una esponja, se enjuagaron con agua corriente y después con agua desionizada. Los frutos se secaron, se asperjaron con alcohol al 70% y se colocaron para secarse, sobre charolas por 30 min.

No obstante, los frutos no pudieron ser utilizados ya que desarrollaron síntomas de roña y de antracnosis antes de ser inoculados. En las huertas donde se colectaron no se asperjan plaguicidas en los árboles, por lo cual la incidencia de enfermedades postcosecha se incrementa.

Experimento 2

Material vegetal. Se utilizaron frutos de mango variedad Paraíso adquiridos en un centro comercial en Morelia, Mich. Los frutos se lavaron y tallaron con agua jabonosa durante 10 seg con una esponja, se enjuagaron con agua corriente y después con agua desionizada. Una vez que se secaron se asperjaron los frutos con alcohol al 70% y se dejaron secar. Se marcaron dos áreas rectangulares de 5x4 cm en una de las caras de los frutos con un plumón indeleble, una de las áreas se rotuló con la letra A y la otra con la letra B, fuera de cada área marcada se dibujaron líneas que sirvieron como guía para colocar el inóculo (Fig. 4).



Figura 4. Frutos de mango utilizados en el experimento con áreas delimitadas marcadas con plumón.

Aplicación de fungicidas. Se probaron 4 fungicidas: dos productos biológicos (Hiper-Lisis y Fungifree AB), un producto orgánico (Bactrix) y un producto químico (Hidrocob) (Cuadro 6). Los frutos utilizados para cada tratamiento se sumergieron al mismo tiempo en cada producto durante un minuto. Después se colocaron en cámara húmeda sobre cajas de Petri en recipientes de plástico.

Cuadro 6. Fungicidas y concentraciones utilizadas en el experimento.

Producto	Composición	Aplicación
Bactrix	Extractos vegetales Cobre carboxilado	5 mL/L
Hiper Lisis	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	5 mL/L
Fungifree	<i>Bacillus subtilis</i>	2 g/L
Hidrocob	Hidróxido cúprico	10 g/L

Inóculo. Se crecieron los 3 aislados de *Colletotrichum* spp. MXJAL-448, MXJAL-493, y MXJAL-505, en cajas Petri de plástico de 90 x 15 mm con medio PDA que contenía 2 o 3 trozos (1 cm²) de hojas de mango para estimular la producción de esporas. Los cultivos se incubaron bajo luz blanca continua a 25 °C

durante 7 días. Después de ese tiempo se obtuvo una suspensión haciendo lavados con agua destilada estéril para desprender los conidios.

Se cuantificó la concentración de conidios en la suspensión de cada aislado con una cámara de Neubauer (Cuadro 7), y se estandarizaron para que todas tuvieran la misma concentración a: 1×10^6 .

Cuadro 7. Concentraciones de las suspensiones de esporas a partir de las cuales se estandarizó a una concentración de 1×10^6

Cepa	Concentración (conidios/mL)
MXJAL-448	1.66×10^6
MXJAL-493	4.92×10^6
MXJAL-505	1.54×10^6

Los frutos se inocularon colocando 12 gotas de 10 μ L de las suspensiones de conidios dentro de cada rectángulo. En el rectángulo etiquetado como "A" se inocularon 12 gotas de la suspensión que se encontraba a una concentración de 1×10^6 y en el rectángulo "B" se inocularon 12 gotas con las concentraciones originales (Cuadro 7). En el caso de los controles se utilizaron gotas de agua desionizada estéril.

Los tratamientos se realizaron como se describe en el cuadro 8. Se empleó un total de 60 frutos, 3 frutos por cada inóculo utilizado en los 5 tratamiento. Se utilizaron 3 frutos por tratamiento, se utilizaron 5 productos (4 fungicidas y el blanco) y 4 inóculos (3 cepas y el blanco), dando un total de 20 tratamientos (producto/inóculo).

Cuadro 8. Tratamientos utilizados en el experimento. Diferentes fungicidas frente a los aislados de *Colletotrichum siamense* (MXJAL-448 y MXJAL-505) y *C. asianum* (MXJAL-493).

TRATAMIENTOS				
I	II	III	IV	V
Bactrix	Hiper Lisis	Fungifree	Hidrocob	Agua^a
MXJAL-448	MXJAL-448	MXJAL-448	MXJAL-448	MXJAL-448
MXJAL-493	MXJAL-493	MXJAL-493	MXJAL-493	MXJAL-493

MXJAL-505	MXJAL-505	MXJAL-505	MXJAL-505	MXJAL-505
Agua ^b				

^a Control positivo, los frutos se sumergieron en agua y se inocularon con los tres aislados y agua.

^b Control negativo, se inoculó con agua, en lugar de los aislados para cada tratamiento.

Los frutos inoculados se incubaron en cámaras húmedas que se taparon durante 24 h, después de este tiempo se retiraron las tapas y se mantuvieron a 25°C durante 7 días.

5.7. Estadística

Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey, en los diferentes experimentos, con un nivel de significancia de 0.05.

6. RESULTADOS

6.1. Pruebas de patogenicidad

Experimento 1

En la evaluación de la patogenicidad de los 10 aislados de *Colletotrichum* spp., se observó una incidencia del 100% en los frutos inoculados, y las variaciones se dieron en el tamaño de las lesiones. Todos los aislados tuvieron la capacidad para infectar el tejido vegetal. Se observaron lesiones con bordes definidos, alrededor del punto de inoculación con una coloración negra de consistencia seca, tornándose café y acuosa conforme la lesión iba avanzando. En algunos casos se observó la presencia de micelio (Fig. 5).

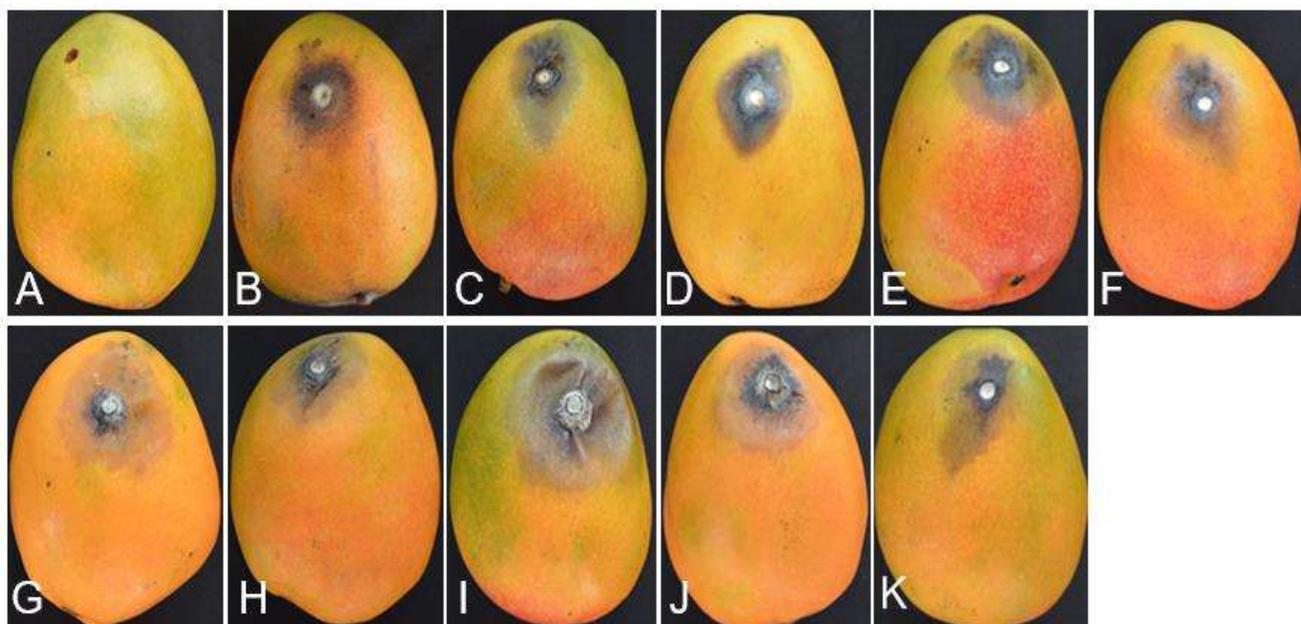


Figura 5. Síntomas en frutos de mango variedad Kent inoculados con el método de herida. A) Control inoculado con disco PDA, B a K, frutos inoculados con los aislados: B) MXJAL-484, C) MXJAL-444, D) MXJAL-497, E) MXJAL-505, F) MXJAL-463, G) MXJAL-474, H) MXJAL-493, I) MXJAL-458, J) MXJAL-436, y K) MXJAL-448.

De acuerdo al análisis estadístico, hubo diferencias significativas entre aislados con respecto al diámetro de lesión causado en los frutos ($P=0.0021$), por lo tanto, hubo diferencias en virulencia entre los aislados (Fig. 6).

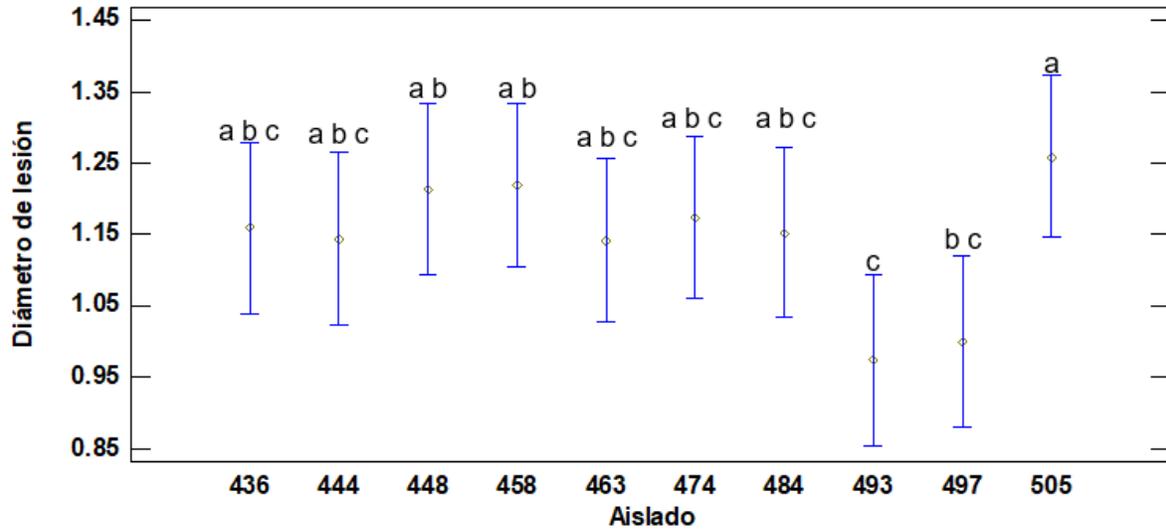


Figura 6. Análisis del diámetro de lesión provocada por los diferentes aislados utilizados. Diferentes letras minúsculas sobre las barras de error representan diferencias significativas.

Con relación a los aislados recuperados de los síntomas observados en los frutos, se confirmó su patogenicidad completando los postulados de Koch.

Experimento 2

Los resultados del experimento para evaluar la virulencia de los aislados de *Colletotrichum* spp. MXJAL-463 y MXJAL-484, mostraron que en todos los frutos inoculados se observó el desarrollo de lesiones. Las lesiones se presentaron como manchas de color negro y de consistencia seca, algunas estaban dispersas por el área inoculada, y en otros frutos las lesiones coalescieron desarrollándose una lesión de mayor tamaño. Hubo variación en la cantidad y tamaño de las lesiones (Fig. 7).

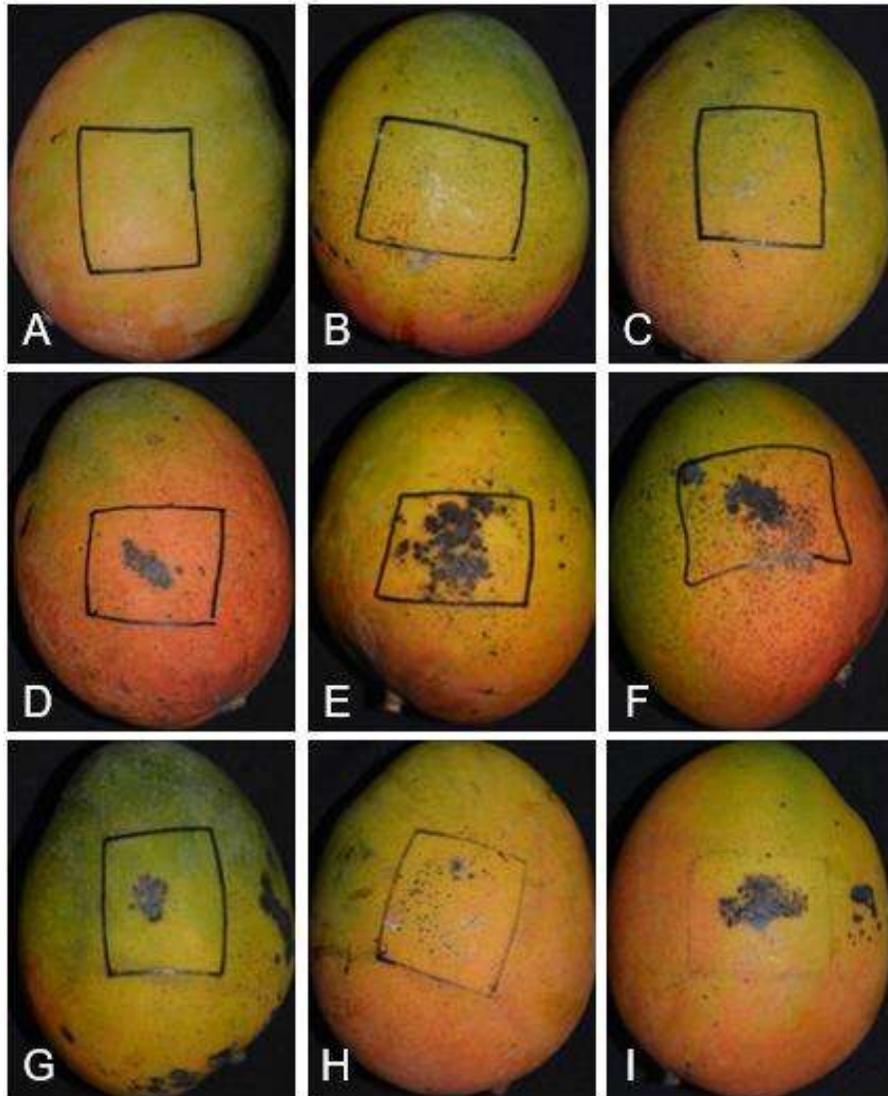


Figura 7. Síntomas observados en los frutos de mango variedad Paraíso inoculados con 3 métodos diferentes. A-C) Frutos control, inoculados con agua. A) Inoculación por aspersión, B) Inoculación con algodón y C) Inoculación por aspersión con herida. D-F) Frutos inoculados con el aislado MXJAL-463. D) Inoculación por aspersión, E) Inoculación con algodón y F) Inoculación por aspersión con herida. G-I) Frutos inoculados con el aislado MXJAL-484. G) Inoculación por aspersión, H) Inoculación con algodón e I) Inoculación por aspersión con herida. Todos los frutos fueron inoculados con la misma concentración de inóculo (1×10^6 conidios/ml⁻¹).

Los tres métodos de inoculación produjeron porcentajes similares de las áreas de las lesiones. El análisis estadístico, indicó que no hubo diferencias significativas entre ninguno de los métodos de inoculación ($P=0.7411$). Tampoco se encontraron diferencias significativas en los aislados ($P=0.1755$). A diferencia del experimento 1, no se observaron diferencias en virulencia entre los aislados de la especie de *C. siamense*. Los resultados indicaron que el patógeno es capaz de penetrar el pericarpio sin la presencia de una herida.

6.2. Efecto de *Trichoderma* sobre el crecimiento de *Colletotrichum*

En las confrontaciones duales de las cepas de *T. atroviride*, HCH-62 y *T. harzianum*, THCOM1 con los 4 aislados de *C. siamense*, MXJAL-436, MXJAL-448, MXJAL-463, MXJAL-505 y el aislado *C. asianum* MXJAL-493, se observó el mayor porcentaje de inhibición frente al aislado MXJAL-436 con un 58.97% mientras que el menor porcentaje se presentó frente a los aislados MXJAL-448 y MXJAL-505 con un 54.67% y 54.97% respectivamente. En lo referente a la cepa THCOM1, el mayor porcentaje de inhibición se presentó frente al aislado MXJAL-493 con un 57.17%, mientras que el menor porcentaje se detectó frente al aislado MXJAL-505 con un 45.49%. Los resultados mostraron que las dos cepas de *Trichoderma* evaluadas tienen efecto antagónico sobre el crecimiento de los aislados utilizados y que presentan mayor velocidad de crecimiento radial con respecto al patógeno seis días después de la inoculación (Fig. 8). La cepa de *Trichoderma* que presentó mayores porcentajes de inhibición fue HCH-62 (Fig. 9).

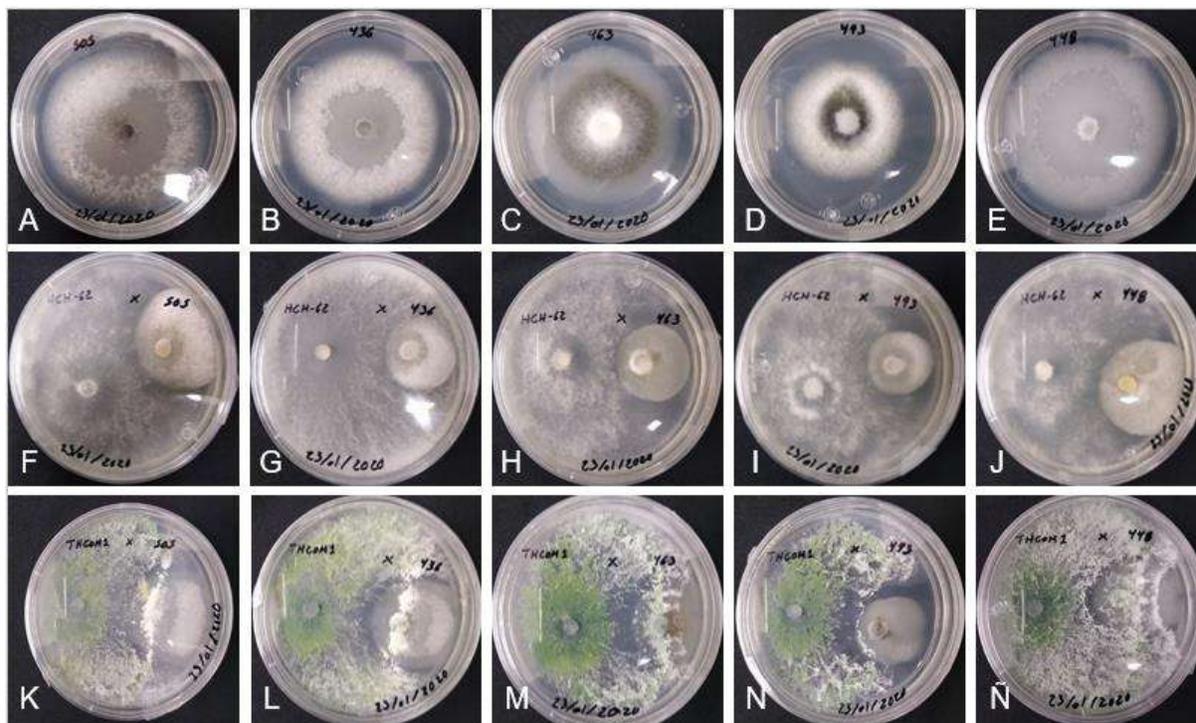


Figura 8. Confrontaciones duales de las cepas de *Trichoderma* spp. frente a los aislados de *Colletotrichum* spp. después de 6 días de crecimiento. Controles A-E: A) MXJAL-505, B) MXJAL-436, C) MXJAL-463, D) MXJAL-493, E) MXJAL-448. Confrontaciones F-Ñ: F) HCH-62 x MXJAL-505, G) HCH-62 x MXJAL-436, H) HCH-62 x MXJAL-463, I) HCH-62 x MXJAL-493, J) HCH-62 x MXJAL-448, K) THCOM1 x MXJAL-505, L) THCOM1 x MXJAL-436, M) THCOM1 x MXJAL-463, N) THCOM1 x MXJAL-493, Ñ) THCOM1 x MXJAL-448.

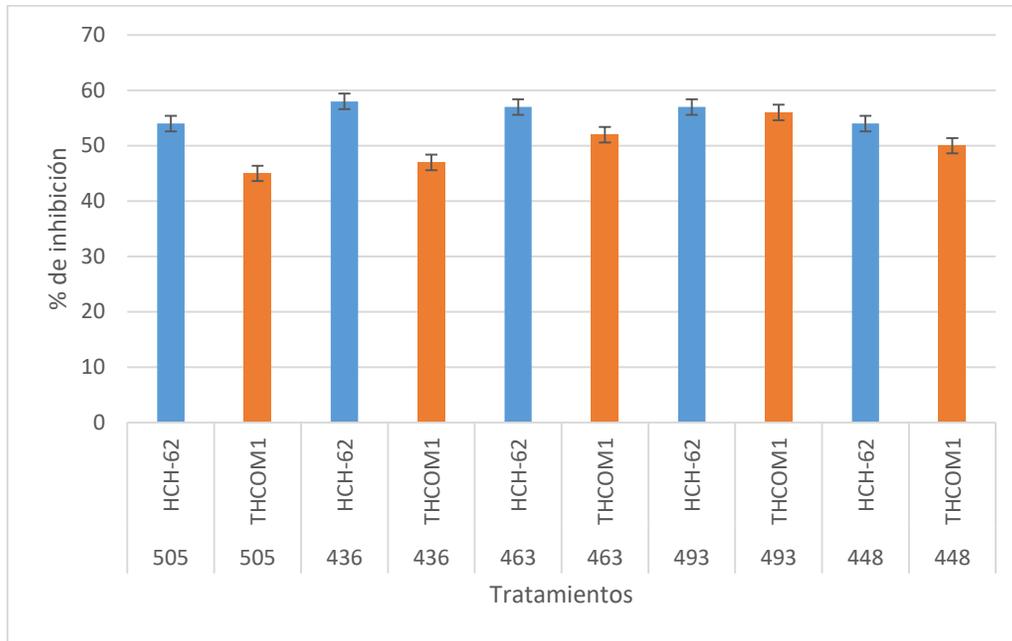


Figura 9. Porcentaje de inhibición causado por las cepas de *Trichoderma* spp. frente a los aislados de *Colletotrichum* spp. después de 6 días de crecimiento.

De acuerdo a los análisis estadísticos, hay diferencias significativas entre las cepas de *Trichoderma* ($P=0.0024$); sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los aislados de *Colletotrichum* ($P=0.1753$). La cepa HCH-62 tiene mayor potencial antagónico (Fig. 10); no obstante, los aislados de *Colletotrichum* no difieren en el grado en el que se inhiben en presencia de cada una de las cepas de *Trichoderma* sin importar la especie a la que pertenecen, esto es importante porque esta cepa parece tener el potencial para inhibir a cualquier aislado de *Colletotrichum* causante de antracnosis.

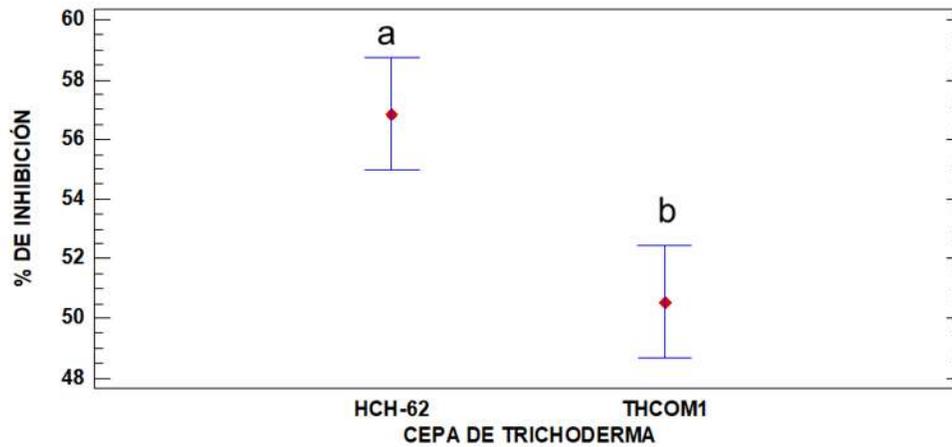


Figura 10. Análisis del porcentaje de inhibición desarrollado en las confrontaciones de cepas de *Trichoderma* spp. frente a aislados de *Colletotrichum* spp. Diferentes letras minúsculas sobre las barras de error representan diferencias significativas.

6.3. Efecto de fungicidas biológicos sobre el crecimiento de *Colletotrichum* spp.

En la evaluación del fungicida biológico (Hiper-Lisis) con dos métodos de prueba distintos frente a los dos aislados de *C. siamense* MXJAL-448 y MXJAL-505, los resultados mostraron que el fungicida ejerce un efecto inhibitorio sobre el crecimiento radial del patógeno en ambos métodos de aplicación. Se observó un crecimiento rápido de *Trichoderma* el cual colonizó todo el espacio de manera más rápida que el patógeno (Fig. 11). Se observaron los mayores porcentajes de inhibición en los aislados de *Colletotrichum* spp. utilizando el método de dispersión del fungicida en el medio (Fig. 12).

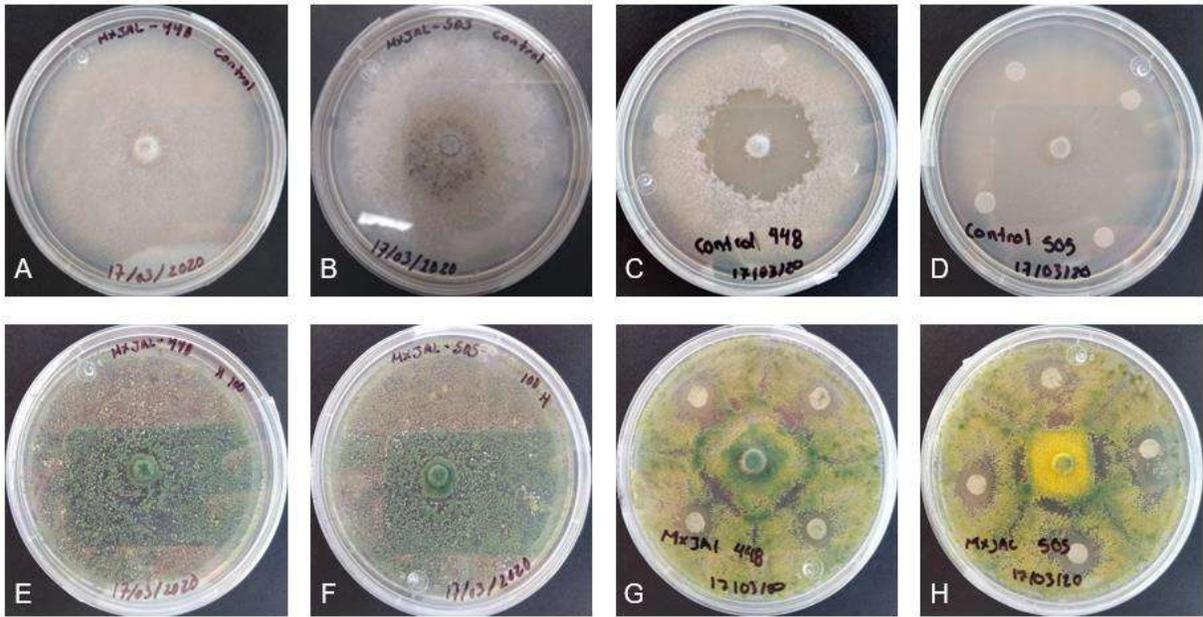


Figura 11. Evaluación de Hiper-Lisis bajo dos métodos de aplicación frente a dos aislados de *Colletotrichum* spp. después de 10 días de crecimiento. Controles A-D: A) MXJAL-448 método de dispersión, B) MXJAL-505 método de dispersión, C) MXJAL-448 método de papel filtro, D) MXJAL-505 método de papel filtro, E) Hiper-Lisis x MXJAL-448 método de dispersión, F) Hiper-Lisis x MXJAL-505 método de dispersión, G) Hiper-Lisis x MXJAL-448 método de papel filtro, H) Hiper-Lisis x MXJAL-505 método de papel filtro.

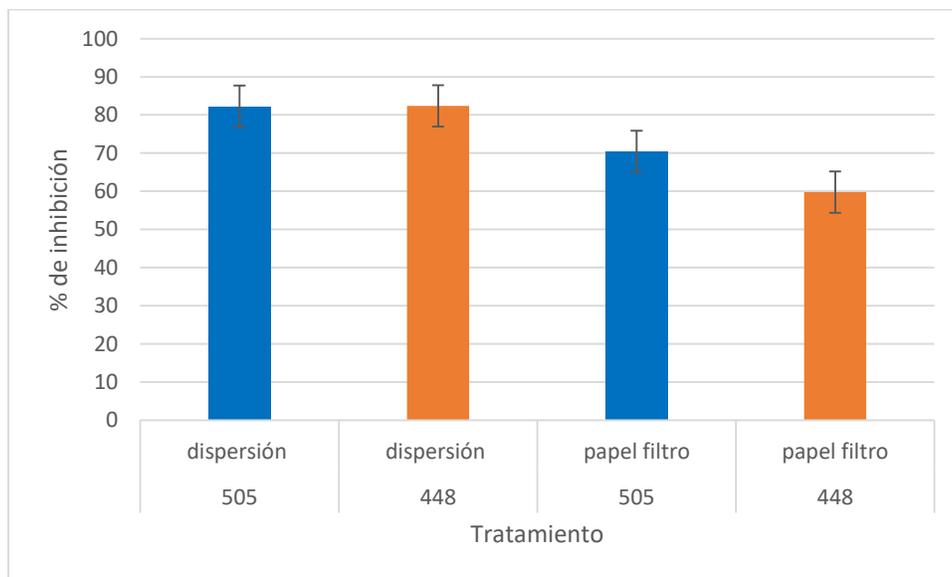


Figura 12. Porcentaje de inhibición causado por el fungicida Hiper-Lis aplicado bajo los métodos de dispersión y aspersión frente a los aislados de *Colletotrichum* spp.

De acuerdo a los análisis estadísticos, hay diferencias significativas entre los métodos de aplicación del fungicida ($P=0.0000$), de igual forma, se encontraron diferencias significativas entre los aislados con los métodos de aplicación ($P=0.0020$). El método de dispersión fue el más efectivo para reducir el crecimiento del patógeno (Fig. 13 A); los aislados de *Colletotrichum* spp. difieren en el grado en el que se inhiben de acuerdo al método de aplicación del fungicida, siendo el método de dispersión el que causó mayor inhibición (Fig. 13 B).

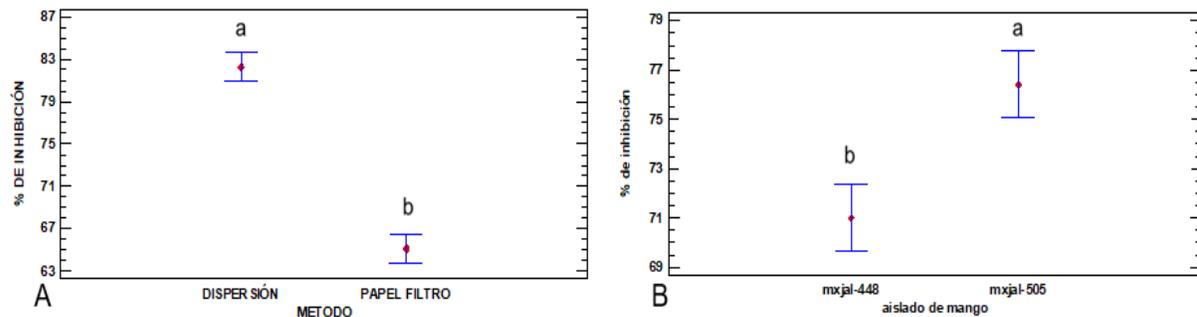


Figura 13. Análisis del porcentaje de inhibición desarrollado en los métodos de aplicación de fungicida frente a aislados de *Colletotrichum* spp. A) Porcentaje de inhibición causado por los métodos de aplicación del fungicida. B) Porcentaje de inhibición de los aislados de *Colletotrichum* frente a los fungicidas. Diferentes letras minúsculas sobre las barras de error representan diferencias significativas.

6.4. Evaluación de la capsaicina sobre el crecimiento de *Colletotrichum* spp.

En la evaluación del efecto de la capsaicina sobre el crecimiento de dos aislados de *C. siamense*, se observaron diferentes porcentajes de inhibición frente al aislado MXJAL-448 de 10.84% para la concentración 400 μM , 21.68% para 800 μM y 38.31% para 1600 μM . Mientras que frente al aislado MXJAL-505 se observaron porcentajes de inhibición de 3.64% para 400 μM , 18.22% para 800 μM y 33.59% para 1600 μM . Los resultados mostraron que la capsaicina ejerce un efecto inhibitorio sobre los aislados de *Colletotrichum* (Fig. 14). Los mayores porcentajes de inhibición se presentaron frente a la concentración de 1600 μM para ambos aislados (Fig. 15).

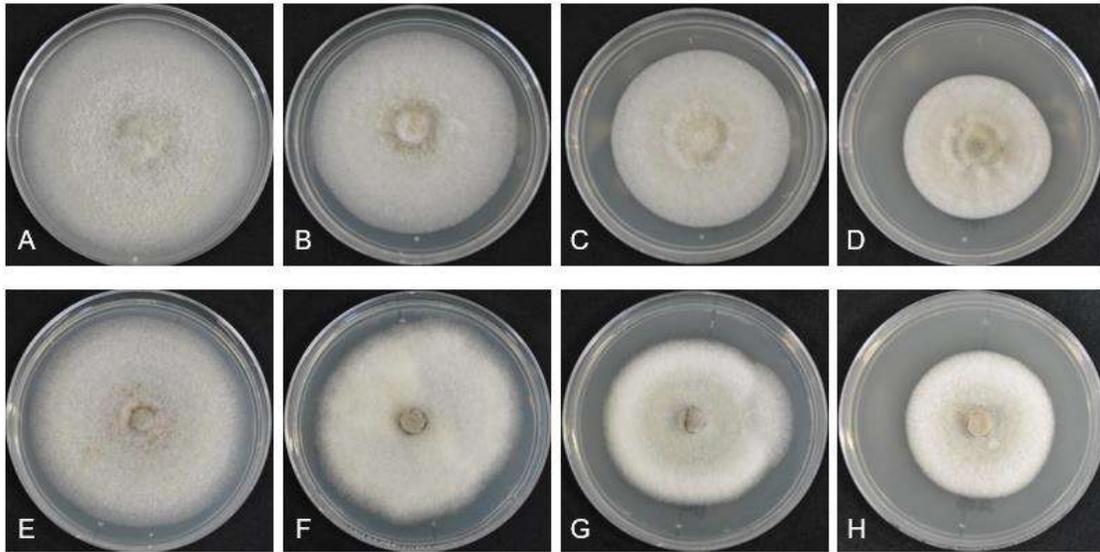


Figura 14. Evaluación de capsaicina bajo 3 concentraciones frente a dos aislados de *Colletotrichum siamense* después de 8 días de crecimiento. A) Control MXJAL-448, B) MXJAL-448 x 400 μM, C) MXJAL-448 x 800 μM, D) MXJAL-448 x 1600 μM, E) Control MXJAL-505, F) MXJAL-505 x 400 μM, G) MXJAL-505 x 800 μM, H) MXJAL-505 x 1600 μM.

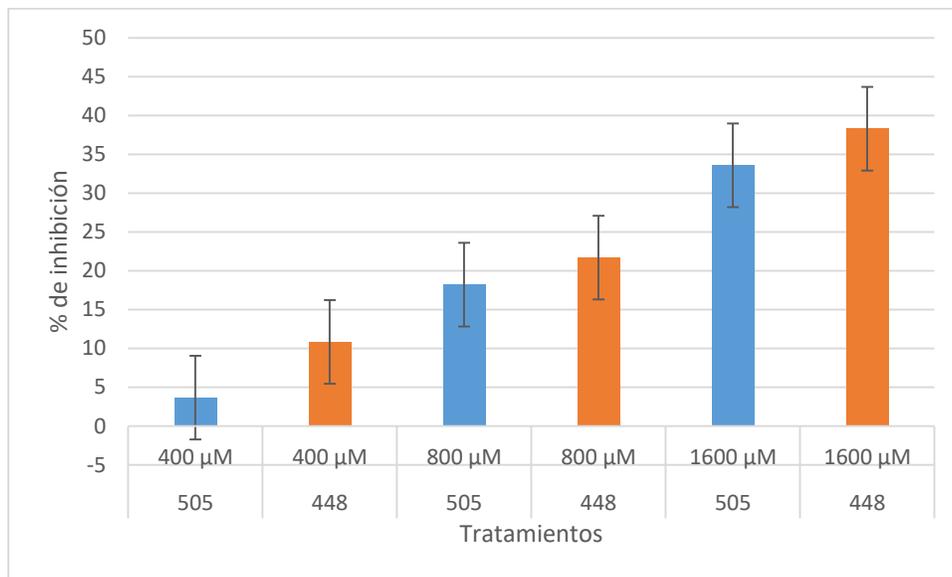


Figura 15. Porcentaje de inhibición causado por capsaicina a diferentes concentraciones frente a los aislados de *Colletotrichum* spp.

De acuerdo a los análisis estadísticos, hay diferencias significativas entre las concentraciones de capsaicina utilizadas ($P=0.0000$). Además, se encontraron diferencias significativas entre los aislados para cualquiera de las concentraciones de capsaicina utilizadas ($P=0.0000$). Con la concentración más alta (1600 μM) se obtuvieron mayores porcentajes de inhibición del crecimiento del patógeno (Fig. 16 A). En cuanto a los aislados de *Colletotrichum* spp., estos difieren en el grado en el que se inhiben en presencia de la capsaicina (Fig. 16 B).

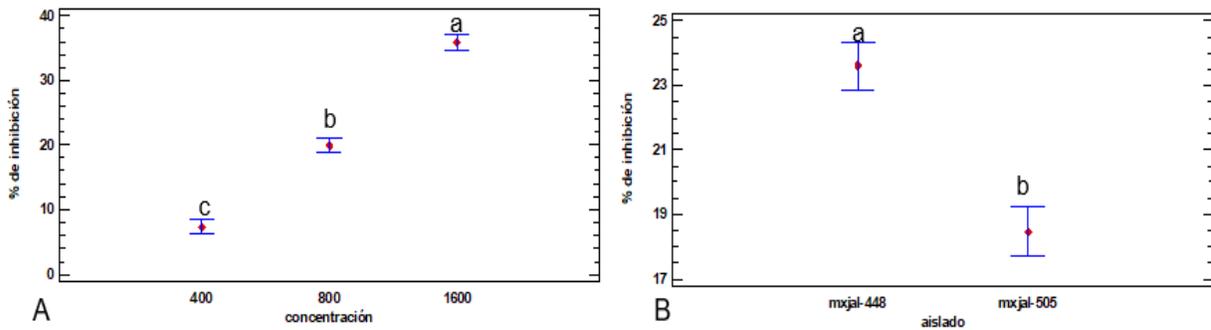


Figura 16. Análisis del porcentaje de inhibición desarrollado con las diferentes concentraciones de capsaicina frente a aislados de *Colletotrichum* spp. A) Porcentaje de inhibición causado por cada concentración de capsaicina. B) Porcentaje de inhibición de *Colletotrichum* frente a capsaicina. Diferentes letras minúsculas sobre las barras de error representan diferencias significativas.

6.5. Evaluación de fungicidas en frutos de mango

Los frutos de mango variedad Paraíso que se utilizaron en este experimento, desarrollaron síntomas de antracnosis, no relacionados con la inoculación, 3 días después de iniciado el experimento. Se formaron lesiones en los mangos control (Fig. 17 A y B), y alrededor del área de inoculación (Fig. 17C-I) o cerca de las gotas de inóculo colocadas (Fig. 17F-I). De tal manera, que fue difícil diferenciar las lesiones que se formaron por la inoculación o las que se pudieron haber formado por otros patógenos que estaban de manera latente en el fruto. Debido a esto no fue posible analizar los datos del efecto de los productos utilizados para el control de la antracnosis.

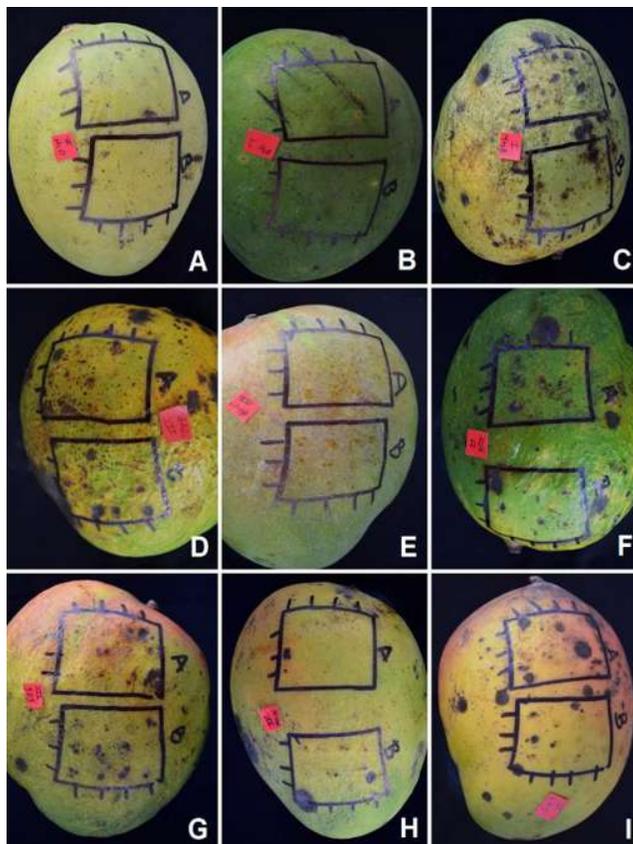


Figura 17. Mangos variedad Paraíso después de 7 días de la inoculación. Mangos inoculados con agua (A y B), mangos inoculados con el aislado MXJAL-448 (C-E), mangos inoculados con el aislado MXJAL-505 (F-I). A e I, producto control (solo agua); B y C, producto Bactrix; D y G, producto Hiper-Lisis; E y H, producto Hidrocob; F, producto Fungifree AB. Letras en los rectángulos representan diferente concentración de inóculo, A- 1×10^6 y B-concentración original.

7. DISCUSIÓN

Las especies del género *Colletotrichum* tienen una alta capacidad de infección, y afectan un amplio rango de hospedantes (Rojo-Báez *et al.*, 2017). En el presente estudio se observó que aislados de *Colletotrichum* spp. son patogénicos en frutos de mango de dos variedades, detectándose una mayor virulencia en los frutos de la variedad Kent que en los frutos de la variedad Paraíso.

Cano (1999) menciona que si bien los cultivares de la variedad Kent son altamente productivos, también son altamente susceptibles a desarrollar enfermedades como la causada por el género *Colletotrichum*, lo cual coincide con lo observado en el presente estudio. Caro-Melendez y De la Cruz-Llanos (1987), en Colombia, también observaron diferencias en la susceptibilidad de 6 variedades de mango a *Colletotrichum*.

Otro factor que puede influenciar la severidad de la enfermedad es la especie del hongo, en este estudio los aislados de *Colletotrichum* utilizados pertenecían a dos especies, *C. asianum* y *C. siamense*, los cuales presentaron diferencias en cuanto a la patogenicidad, siendo los más virulentos los aislados MXJAL-505, MXJAL-448 y MXJAL-458 que pertenecen a la especie de *C. siamense*. El aislado MXJAL-493 perteneciente a la especie de *C. asianum* mostró ser menos virulento. Tovar-Peraza *et al.* (2020) reportaron diferencias entre cepas de *Colletotrichum* con respecto a la virulencia, siendo *C. asianum* y *C. siamense* las especies más virulentas, sin reportar diferencias entre ellas, mientras que *C. fruticola* y *C. alienum* fueron las menos virulentas en frutos de mango. En contraste en este estudio las especies de *C. siamense* y *C. asianum* sí presentaron diferencias en cuanto a la virulencia. Por otra parte Valdés *et al.*, (2017), reportaron una alta virulencia de *C. gloeosporioides* causando antracnosis en mango.

Por lo que respecta a la utilización de *Trichoderma*, las especies de este género han despertado gran interés como posibles agentes de control biológico en enfermedades de plantas causadas por agentes fúngicos (Chet *et al.*, 1981). Este es el primer estudio en el que cepas de *Trichoderma* spp. muestran antagonismo

contra *C. asianum* y *C. siamense*, agentes causales de antracnosis del mango en Jalisco.

En este estudio se observaron diferencias significativas en el antagonismo de las cepas de *Trichoderma in vitro*. Con la cepa HCH-62 cercana a la especie de *T. atroviride* se observaron porcentajes de inhibición mayores para las dos especies de *Colletotrichum* utilizadas, que con respecto a los porcentajes de la cepa THCOM1 de *T. harzianum*. La especie de las cepas de *Trichoderma* puede influir en la capacidad para inhibir al patógeno, se ha reportado que *Trichoderma asperellum* es la que ha mostrado un mayor porcentaje de inhibición (91%) de *C. gloeosporioides* (Peláez-Álvarez *et al.*, 2016) comparado con *Trichoderma harzianum* con la que se reporta un porcentaje de inhibición máximo de 69.05% (Santander, 2012).

Sarmiento (2009) encontró una reducción superior del crecimiento de *C. gloeosporioides* en donde el porcentaje de inhibición máximo fue de 72.29% con *T. harzianum*. Con respecto a *Trichoderma atroviride*, se ha reportado una disminución del crecimiento de *C. acutatum* de 21.4% (Freeman *et al.*, 2004).

En las confrontaciones duales se pudo observar que *Trichoderma* se encontraba colonizando todo el espacio en la caja Petri e incluso se observó el crecimiento sobre el patógeno en todos los casos. Esto concuerda con lo reportado por De los Santos *et al.*, (2013), quienes al evaluar 20 aislados de *Trichoderma* detectaron que *T. asperellum* ejerció el mayor control contra *C. gloeosporioides*, observándose un sobrecrecimiento, lo que indica que posiblemente el control del patógeno se llevó a cabo a través del micoparasitismo, el cual es el principal mecanismo de estudio de esta especie.

Por otra parte, en este estudio se observó que el fungicida biológico comercial Hiper-Lisis (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*) evaluado *in vitro* mostró ser efectivo sobre el crecimiento de los dos aislados de *C. siamense* utilizados, mostrando un porcentaje de inhibición de 82.27% para el aislado MXJAL-505 y 82.34% para el aislado MXJAL-448 utilizando el método de dispersión, mientras que utilizando los discos de papel

filtro se obtuvieron porcentajes de 70.47% para MXJAL-505 y 59.78% para MXJAL-448. Gaviria-Hernández *et al.*, (2013), reportaron porcentajes de inhibición de 61% y 79% utilizando un producto comercial que contiene *Trichoderma* frente a dos cepas de *Colletotrichum* aisladas de un cultivo de mora, así mismo reportaron un porcentaje de inhibición de 26% y 46% utilizando un producto a base de *Bacillus subtilis* frente a las mismas cepas. Se han reportado diferencias en porcentajes de inhibición utilizando *Bacillus subtilis* con diferentes especies de *Colletotrichum* aisladas de diversos frutos, que van desde 8 hasta 84% (Caballero Mairesse y Soilán Duarte, 2018; Moreira, 2013).

Es posible que los microorganismos antagonistas del producto Hiper-Lisis ejercieran un efecto sinérgico ocasionando un mayor porcentaje de inhibición del crecimiento del patógeno que de manera individual, como se observó al utilizar únicamente a las cepas de *T. harzianum* y *T. atroviride*. Con tres microorganismos como agentes de control biológico el parasitismo puede ser más efectivo y puede haber mayor competencia por el espacio. Asimismo, es importante considerar que al tratarse de diferentes especies de *Trichoderma* las que contiene este producto comercial y las que se probaron de manera individual, estas pueden tener diferentes mecanismos de acción o eficacia. De la Cruz-Quiroz *et al.* (2018), reportaron 5 especies de *Trichoderma* como agentes de control biológico frente a *C. gloeosporioides*, presentando diferentes mecanismos de acción como antibiosis, micoparasitismo y producción de diferentes enzimas, los cuales variaron de acuerdo a la especie de *Trichoderma*. Por lo cual será necesario probar de manera separada los ACB en futuras investigaciones, incluyendo diversas especies de *Trichoderma*.

Otros productos naturales que se han estudiado por sus propiedades para controlar plagas agrícolas (Moreno *et al.*, 2012), al mostrar propiedades antibacteriales e incluso fungicidas, provienen del fruto del chile que posee diferentes compuestos entre los que se encuentran la capsaicina, la capsicidina, el capsidol, los capsianósidos y la capsicodendrina (Dewwitt *et al.*, 2000).

Lo cual se confirmó con los resultados obtenidos en el presente estudio, en el que la capsaicina mostró un efecto inhibitorio sobre *Colletotrichum* con todas las concentraciones probadas, encontrándose diferencias en el porcentaje de inhibición de cada una, siendo la concentración más alta (1600 μM) la que ocasionó mayores porcentajes de inhibición con 38.31% para MXJAL-448 y 33.59% para MXJAL-505, ambos pertenecientes a la especie de *C. asianum*. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Vázquez-Fuentes *et al.* (2021), quienes determinaron los mayores porcentajes de inhibición de *C. gloeosporioides* (65%) y *C. acutatum* (64%) con la concentración de 1600 μM , utilizando el mismo compuesto (ABX-I). Sin embargo, el porcentaje de inhibición fue más bajo con la especie de *C. siamense* obtenida de mango, por lo que este resultado sugiere que la efectividad de este producto varía de acuerdo a la especie de *Colletotrichum*. Esto lo confirma lo reportado por Echenique Martínez (2016), al determinar con la especie *C. musae*, un porcentaje de inhibición de 74% aún mayor que el que se ha observado con otras especies y utilizando una concentración menor (400 ppm) de capsaicina.

De acuerdo a Waizel y Morfín, (2011), el efecto de la capsaicina puede estar relacionado con la inhibición enzimática, o por interacciones no específicas con proteínas las cuales alteran la actividad o estructura proteica. De igual manera mencionan que la cantidad de grupos hidroxilo en el anillo de la capsaicina pueden tener relación con la toxicidad de este compuesto frente a los microorganismos.

En la actualidad el uso de fungicidas biológicos y extractos vegetales para el manejo de enfermedades se ha abierto paso en la agricultura ya que estos aportan diversos beneficios como la reducción en el impacto ambiental y en la salud de los consumidores. Además, debido al uso desmedido de los productos químicos los agentes patógenos han desarrollado resistencia a estos. Gutiérrez-Alonso *et al.* (2003), reportaron resistencia a fungicidas químicos como imazalil, prochloraz y azoxystrobin por parte de *C. gloeosporioides*. Sin embargo, una desventaja de los insumos biológicos puede ser su baja efectividad para el control de las enfermedades. En el presente estudio no se pudo determinar el efecto de

los agentes de control biológico (fungicidas) en frutos sobre *Colletotrichum* por el desarrollo de lesiones atribuibles a otros agentes patógenos que se encontraban de manera latente. Esto es indicativo del severo problema que representan diversos patógenos en poscosecha en Jalisco. Spadaro y Gullino (2004), mencionan que uno de los obstáculos más grandes para el control biológico es su relativa inhabilidad para controlar infecciones que se establecen antes de la cosecha, como son las infecciones latentes. Debido a estas infecciones latentes la calidad de los frutos disminuye, lo que termina por ocasionar pérdidas económicas significativas para los productores. En ocasiones los frutos no se pueden comercializar ya que no son aceptados por los consumidores y en muchos otros casos los frutos no logran cumplir con los estándares de calidad para los mercados de exportación (Arauz, 2000; Ploetz, 2003), por lo tanto, esto representa grandes desafíos para quienes se encuentran involucrados en el comercio internacional de este fruto.

Existen trabajos en los que sí ha sido posible evaluar el potencial de microorganismos como agentes de control biológico en mango, Carrillo-Fasio *et al.* (2005), demostraron la eficiencia de *B. subtilis* para controlar la antracnosis en mango variedad Kent causada por *C. gloeosporioides*, obteniendo mejores resultados que el control químico. Por su parte; Peláez-Álvarez *et al.* (2016), encontraron que en frutos de mango, *T. asperellum* era capaz de controlar el crecimiento de *C. gloeosporioides*, por lo tanto esto podía ser una alternativa para reducir el uso de productos químicos. Estos resultados son alentadores y demuestran que pueden existir productos que pueden ser una alternativa para el manejo de antracnosis en mango, por lo que deberán continuarse estos estudios con aislados de Jalisco, utilizando otros productos, así como utilizar otros tejidos como hojas, en las que se estima que las infecciones latentes se presentarán en menor frecuencia.

8. CONCLUSIONES

Este es el primer reporte de *Colletotrichum asianum* y *C. siamense* como agentes causales de antracnosis en la variedad de mango Kent, en Jalisco, asimismo estos aislados son capaces de infectar la variedad Paraíso, bajo condiciones de laboratorio.

Los aislados de *Colletotrichum* difieren en virulencia, *C. siamense* es más virulento que *C. asianum* causando antracnosis en frutos maduros. Los aislados pueden inducir la enfermedad sin la necesidad de una herida.

Los fungicidas biológicos y la capsaicina tienen el potencial de inhibir el crecimiento de *Colletotrichum in vitro* en diferentes porcentajes, superiores al 80% para el fungicida biológico Hiper-Lisis y mayores a 30% para la capsaicina, estos pueden ser una alternativa para el control de la antracnosis.

Los aislados de *Trichoderma atroviride* y *T. harzianum* tienen potencial antagónico frente a *Colletotrichum asianum* y *C. siamense*, inhibiendo su crecimiento *in vitro* en diferentes porcentajes, efecto que puede ser atribuido a la especie y al origen de los aislados de *Trichoderma*.

En la evaluación de fungicidas biológicos en frutos, las enfermedades poscosecha representan un gran problema para la evaluación de estos productos ya que su eficacia disminuye debido a las infecciones latentes, por lo tanto se deben buscar alternativas para su evaluación.

Perspectivas

Los resultados del presente trabajo confirman que las especies de *Colletotrichum*, *C. asianum* y *C. siamense* causan antracnosis en el cultivo de mango en Jalisco, asimismo se obtuvo información preliminar sobre las posibles alternativas de manejo de la enfermedad de una manera más amigable con el medio ambiente, sin embargo aún es necesario realizar investigaciones adicionales sobre dichas alternativas para poder aplicarlas en el futuro en el campo y ayudar a disminuir la incidencia de la antracnosis en las huertas de mango de Jalisco.

9. LITERATURA CITADA

Alkan, N., Friedlander, G., Ment, D., Prusky, D., y Fluhr, R. 2015. Simultaneous transcriptome analysis of *Colletotrichum gloeosporioides* and tomato fruit pathosystem reveals novel fungal pathogenicity and fruit defense strategies. *New Phytologist*, 205(2):801-815.

Allende, R., Juárez, C., García, R., Carrillo, A., Patiño, M., y Galindo, E. 2001. *Rhodotorula minuta*, agente de control biológico potencial contra *Colletotrichum gloeosporioides* en mango. *Brazilian Phytopathology*, 26 (supplement): 461-462.

Anhuaman, M. E. 2010. El reino Fungí-Hongo. *Ciencia y Ambiente*. <http://www.monografias.com/trabajos82/reino-fungi-hongo/reino-fungi-hongo2.shtml> (Consultada en marzo de 2021).

Aranda, F. J., Teruel, J. A. y Ortiz, A. 2005. Further aspects on the hemolytic activity of the antibiotic lipopeptide iturin A. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Biomembranes*, 1713:51-56.

Arauz, L. F. 2000. Mango anthracnose: Economic impact and current options for integrated management. *Plant Disease*, 84(6):600-606.

Argumedo-Delira, R., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., y Peña-Cabriales, J. J. 2009. El género fúngico *Trichoderma* y su relación con contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(4):257-269.

Bailey, J. A. y Jeger, M. J., editors. 1992. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. Wallingford, UK: Center for Agricultural Bioscience International. 388 p.

Barros, S., Oliveira, N., y Bastos, S. 1995. *Trichoderma spp.* en el control biológico de *Colletotricum lindemuthianum* (Sacc.etmagn) Scribb, agente de la antracnosis del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Boletín Micológico*, 10.

Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E. y Wilson, C. L. 2003. Effect of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum*

gloeosporioides anthracnose level and quality of papaya fruit. *Crop Protection*, 22:1087-1092.

Binyamini, N., y Schiffmann-Nadel, M. 1972. Latent infection in avocado fruit due to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Phytopathology*, 62(6):592-594.

Caballero Mairesse, G. G., y Soilán Duarte, L. C. 2018. Efecto del producto biológico a base de *Bacillus subtilis* sobre la antracnosis (*Colletotrichum fragariae* Brooks) y la mancha marrón (*Pestalotiopsis* sp.) en el plantines de frutilla (*Fragaria x ananassa duch*). Dirección URL del informe: /12843.

Cannon, P. F., Damm, U., Johnston, P. R. y Weir, B. S. 2012. *Colletotrichum* current status and future directions. *Studies in Mycology*, 73:181-213.

Cano, A. M. 1999. Enfermedades poscosecha en cuatro variedades de mango (*Mangifera indica* L.) colectadas en el estado de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 51 p.

Caro Melendez, G. y De la Cruz Llanos, A. 1987. Control químico de la antracnosis del mango (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en frutos cosechados. Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica del Magdalena, Facultad de Ingeniería Agronómica, Santa Marta, Colombia. 79 p.

Carrillo-Fasio, J. A., García-Estrada, R. S., Muy-Rangel, M. D., Sañudo-Barajas, A., Márquez-Zequera, I., Allende-Molar, R., de la Garza-Ruiz, Z., Patiño-Vera, M. y Galindo-Fentanes, E. 2005. Control biológico de antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] y su efecto en la calidad poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23:24-32.

Carrillo, U. C., Soriano, E. C., Ángel, D. N. y Alonso, J. G. G. 2002. Histología de frutos de papaya (*Carica papaya* L.) infectados por *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20(1):88-93.

Cepero de García, M. C., Restrepo, R. S., Franco-Molano, A. E., Cardenas, T. M. y Vargas, E. N. 2012. Biología de hongos. Bogotá, Colombia: Ediciones UniaAndes.

Cerón, R. L., Higuera, M. B., Sánchez, N. J., Bustamante, S. y Buitrago, G. 2006. Crecimiento y desarrollo de *Colletotrichum gloeosporioides* f. *alatae* durante su cultivo en medios líquidos. Acta Biológica Colombiana, 11 (1), 99-109.

Chet, I., Harman, G. y Baker, R. 1981. *Trichoderma hamatum*: Its hyphal interactions with *Rhizoctonia solani* and *Pythium spp.* Microbial Ecology, 7:29-38.

Choudhary, D. K. y Johri, B. N. 2009. Interactions of *Bacillus spp.* and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). Microbiological Research, 164:493-513.

Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C. y Barka, E. A. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. Applied Environmental Microbiology, 71:4951-4959.

Crouch, J. A., O'Connell, R., Gan, P., Buiate, E., Torres, M. F., Beirn, L., Shirasu, K. y Vaillancourt, L. 2014. The genomics of *Colletotrichum*. Pp. 69-102. In: Dean RA, Lichens-Park A y Kole C (eds.) Genomics of Plant-Associated Fungi: Monocot Pathogens, 1. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Alemania. 201p.

De Aguilar, R. A., da Cunha, M. G. y Junior, M. L. 2014. Management of white mold in processing tomatoes by *Trichoderma spp.* and chemical fungicides applied by drip irrigation. Biological Control, 74:1-5.

Dean, R., Van, J. A. L., Preorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di, P. A., Spanu, P. D., Rudd, J. J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J. y Foster, G. D. 2012. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology, 13:414-430.

Delgado Fernández, E. y Vásquez Matute, S. 2010. Control biológico de la Antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz. y Sacc.) en tomate

de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) mediante hongos endófitos antagonistas. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 11(1):36-43.

De la Cruz-Quiroz, R., Roussos, S., Rodríguez-Herrera, R., Hernandez-Castillo, D. N. y Aguilar, C. 2018. Growth inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phytophthora capsici* by native Mexican *Trichoderma* strains, Karbala International Journal of Modern Science, 4(2):237-243.

De los Santos, S., Guzmán, D. A., Gómez, M. A., Délano, J. P., De Folter, S., Sánchez, P. y Peña, J. J. 2013. Potential use of *Trichoderma asperellum* (Samuels, Liechfeldt et Nirenberg) T8a as a biological control agent against anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.). Biological Control, 64(1):37–44.

Dewitt, D., Stock, M. T. y Hunter, K., 2000. Los poderes curativos de los chiles, remedios y recetas para mejorar vida y salud. Editorial Diana. México.

Dodd, J. C., Prusky, D. y Jeffries, P. 1997. Fruit diseases. En: Litz, R.E. (ed.) The Mango: Botany, Production and Uses. Centre for Agricultural Bioscience International. pp. 257-280.

Echenique, A. A. 2016. Capsaicina, *Larrea tridentata* y quitosano para el control de *Colletotrichum musae*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora, México. 82 p.

Eckert, J. W. y Ogawa, J. M. 1985. The chemical control of postharvest diseases: subtropical and tropical fruits. Annual Reviews, 23(1):421-454.

Eich, E. 2008. *Solanaceae* and *Convolvulaceae*: Secondary Metabolites. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany, 1(1):637.

Eloy, Y. R., Vasconcelos, I. M., Barreto, A. L., Freire-Filho, F. R. y Oliveira, J. T. 2015. H₂O₂ plays an important role in the lifestyle of *Colletotrichum gloeosporioides* during interaction with cowpea [*Vigna unguiculata* (L) Walp.]. Fungal Biology, 119(8):747-757.

Flores Estrada, J. C. 2014. Evaluación de un fertilizante foliar orgánico y uno químico aplicados en dos etapas de desarrollo en la producción de mango variedad Tommy Atkins; Río Hondo, Zacapa (Tesis de Grado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala de la Asunción.

Freeman, S., Minz, D., Kolesnik, I. *et al.* 2004. *Trichoderma* Biocontrol of *Colletotrichum acutatum* and *Botrytis cinerea* and survival in strawberry. *European Journal of Plant Pathology*, 110:361–370.

Gagnevin. L. y Pruvost, O. 2001. Epidemiology and control of mango bacterial black spot. *Plant Disease*, 85(9):928-935.

Gaviria-Hernández, V., Patiño-Hoyos, L. F. y Saldarriaga-Cardona, A. 2013. Evaluación in vitro de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp., en mora de castilla Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14:67-75.

Ghisalberti, E. L. y Sivasithamparam, K. 1991. Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. *Soil Biology Biochemistry*, 23:1011-1020.

Gong, M., Wang, J. D., Zhang, J., Yang, H., Lu, X. F., Pei, Y. y Cheng, J. Q. 2006. Study of the antifungal ability of *Bacillus subtilis* strain PY-1 in vitro and identification of its antifungal substance (Iturin A). *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 38:233-240.

Govindarajan, V. y Sathyanarayana, M. 1991. *Capsicum*-production, technology, chemistry, and quality. Part V. Impact on Physiology, Pharmacology, Nutrition, and Metabolism; Structure, Pungency, Pain, and Desensitization Sequences. *Food Science Nutrition*, 29(6):435-473.

Gutiérrez-Alonso, J. G., Gutiérrez-Alonso, O., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Zavaleta-Mejía, E., Delgadillo-Sánchez, F. y Vaquera-Huerta, H. 2003. 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*, 21:379-383.

Gutiérrez Pérez, E. D. 2016. Caracterización de los mecanismos antagónicos de *Debaryomyces hansenii* contra *Colletotrichum gloeosporioides* y su efecto en la protección poscosecha en papaya var. maradol. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 100 p.

Harman, G. 2000. Myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease*, 84:377-393.

Harman, G. E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96:190-194.

Hjeljord, L. y Tronsmo, A. 1998. *Trichoderma* and *Gliocladium* in biological control: an overview. In: *Trichoderma and Gliocladium: Enzymes, biological control and commercial applications*. Harman GE, Kubice CP. (Eds), 2:131-151. Taylor and Francis.

Howell, C. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87:4-10.

Inbar, J. y Chet, I. 1997. Lectins and biocontrol. *Critical Reviews in Biotechnology*, 17:1-20.

Ippolito, A., Schena, L., Pentimone, I., y Nigro, F. 2005. Control of postharvest rots of sweet cherries by pre- and postharvest applications of *Aureobasidium pullulans* in combination with calcium chloride or sodium bicarbonate. *Postharvest Biology and Technology*, 36(3):245-252.

Janisiewicz, W. J. y Korsten, L. 2002. Biological control of postharvest disease of fruits. *Annual Review of Phytopathology*, 40:411-441.

Juárez, R. C. 2001. Microorganismos antagonistas para el control de antracnosis en mango cultivado en Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción Agrícola. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 78 p.

Kishore, G. K., Pande, S. y Podile, A. R. 2005. Biological control of late leaf spot of peanut (*Arachis hypogaea*) with chitinolytic bacteria. *Phytopathology*, 95:1157-1165.

Landero-Valenzuela, N., Lara-Viveros, F. M., Andrade-Hoyos, P., Aguilar-Pérez, L. A. y Aguado, R. G. J. 2016. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7:1189-1198.

Layton, C., Maldonado, E., Monroy, L., Corrales, L. C. y Sánchez, L. C. 2011. *Bacillus* spp.; perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos. *Revista NOVA Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 9:177-187.

Li, Y., Gu, Y., Li, J., Xu, M., Wei, Q. y Wang, Y. 2015. Biocontrol agent *Bacillus amyloliquefaciens* LJ02 induces systemic resistance against cucurbits powdery mildew. *Frontiers Microbiology*, 6:883.

Litz, R. E. 2000. World mango breeding problems and perspectives: A biotechnology overview. *Simposium Mango. Control de floración y mejoramiento genético*. Apatzingán, Michoacán, México. 26 – 27 abril 2000. pp 1-7.

Litz, R. E. 2009. *The mango: Botany, production and uses*. Wallingford, UK: CABI.

Liu, D., Cai, J., Xie, C., Liu, C. y Chen, Y. 2010. Purification and partial characterization of a 36-kDa chitinase from *Bacillus thuringiensis* subsp. *colmeri*, and its biocontrol potential. *Enzyme Microbial Technology*, 46:252-256.

Loaiza, J. E. y Rivera, G. 2000. Potencial biocida de extractos de *Gliricida psepium* contra patógenos del cultivo de la papaya. *Agronomía Costarricense*, 1:29-36.

Lorito, M., Harman, G., Prieto, A. Di, y Hayes, C. 1990 Extracellular chitinolytic enzymes produced by *T. harzianum*, purification, characterization and molecular cloning. *Phytopathology*, 82(10):10-77.

Manicom, B. Q. y Wallis, F. M. 1984. Further characterization of *Xanthomonas campestris* pv. *mangiferae indicae*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 34:77- 79.

Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*, 28(1):1-11.

Maughan, H. y van der Auwera, G. 2011. *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. *Infection, Genetics and Evolution*, 11:789-797.

Mc Spadden, G. B. B. 2004 Ecology of *Bacillus* and *Paenibacillus* spp. in agricultural systems. *Phytopathology*, 94:1252-1258.

Meena, K. R. y Kanwar, S. S. 2015. Lipopeptides as the antifungal and antibacterial agents: Applications in food safety and therapeutics. *BioMed Research International*, 2015:1-9.

Mendoza-Herrera, Y. M., Ríos-Velasco, C., Cambero-Campos, J., Dios-Ávila, N. D., Pérez-Corral, D. A., Rodríguez-Guerra, R. y Estrada-Virgen, M. O. 2020. Actinomicetos antagonistas a *Colletotrichum* sp. Penz. en el cultivo de mango en Nayarit, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(2), 00007.

Moreira, R. R. 2013. *Bacillus* spp. e *Pseudomonas* sp. no biocontrole de *Colletotrichum* do grupo *acutatum*, causador da mancha foliar de *Glomerella* em macieira (Tesis de Maestría). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

Moreno-Limón, S., Salcedo-Martínez, S. M., Cárdenas-Ávila, M. L., Hernández-Piñero, J. L. y Núñez-González, M. A. 2012. Efecto antifúngico de capsaicina y extractos de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var *aviculare*) sobre el crecimiento *in vitro* de *Aspergillus flavus*. *Polibotánica*, (34):191-204.

O'Connell, R. J., Thon, M. R., Hacquard, S., Amyotte, S. G., Kleemann, J., Torres, M. F. y Altmüller, J. 2012. Lifestyle transitions in plant pathogenic *Colletotrichum* fungi deciphered by genome and transcriptome analyses. *Nature Genetics*, 44(9):1060-1065.

Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO), 2015. <http://faostat3.fao.org/home/E> (Consultada en octubre de 2020).

Otero-Colina, G., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S., Maymon, M., Ploetz, R. C., Aoki, T., O'Donnell, K. y Freeman, S. 2010. Identification and characterization of a novel etiological agent of mango malformation disease in México, *Fusarium mexicanum* sp. nov. *Phytopathology*, 100:1176-1184.

Páez Redondo, A. R., 2002. Tecnologías sostenibles para el manejo de la antracnosis en papaya y mango. <http://hdl.handle.net/11348/6397> (Consultada en abril de 2019).

Pat-Fernández, V. G., Caamal-Cauich, I. y Caamal-Pat, Z. H. 2017. Comportamiento y competitividad del mango de México en el mercado mundial. Centro de Investigación y Servicio en Economía y Comercio Agropecuario. División de Ciencias Económico Administrativas. Universidad Autónoma, Chapingo.

Peláez-Álvarez, A., Santos-Villalobos, S. de los., Yépez, E. A., Parra-Cota, F. I. y Reyes-Rodríguez, R. T. 2016. Efecto sinérgico de *Trichoderma asperellum* T8A y captan 50 ® contra *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6):1401-1412.

Phoulivong, S. 2011. *Colletotrichum*, naming, control, resistance, biocontrol of weeds and current challenges. *Current Research in Environmental and Applied Mycology*, 1:53-75.

Ploetz, R. C. 2003. Diseases of Mango. pp. 327-363. In: R. C. Ploetz (ed.) *Diseases of Tropical Fruit Crops*. Centre for Agricultural Bioscience International Publishing. Wallingford, UK. 544 pp.

Podila, G. K., Rogers, L. M. y Kolattukudy, P. E. 1993. Chemical signals from avocado surface wax trigger germination and appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Physiology*, 103(1):267-272.

Prieto-Martínez, J. J., Covarrubias-Alvarado, J. E., Romero-Cadena, A. y Figueroa-Viera, J. 2005. Paquete tecnológico para el cultivo de mango en el estado de Colima. Secretaria de Desarrollo Rural. Colima, Colima. 52 pp.

Raaijmakers, J. M. y Mazzola, M. 2012. Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 50(1):403-424.

Ramos, E. Y. A., Navarro, R. I. Z., Zumaqué L. E. O. y Violeth, J. L. B. 2008. Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. *Revista Colombiana de Biotecnología*, (2):23-34.

Rebollar, R. A., Martínez Canul, E., Herrera González, B. y Morales, B. M., 2000. Análisis estratégico de la exportación de mango mexicano (retos y oportunidades ante el TLCAN). *Economía y Administración Agropecuaria*, 2(06). 173 pp.

Regnault, C., Philogene, B., y Vincent, C. 2004. *Vegetal, Biopesticidas de origen*. Mundi Prensa.

Reyes, Y., Martínez, B. e Infante, D. 2008. Evaluación de la actividad antagónica de trece aislamientos de *Trichoderma* spp. sobre *Rhizoctonia* sp. *Revista Protección Vegetal*, 23:112-117.

Rodríguez Cedillos, M., Guerrero Berríos, M. y Sandoval, R. 2002. Cultivo de mango. <http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20Mango.pdf>. (Consultada en marzo 2019).

Rodríguez-López, E. S., González-Prieto, J. M. y 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.

Rodríguez-López, É. S., Cárdenas-Soriano, E., Hernández-Delgado, S., Gutiérrez-Díez, A. y Mayek-Pérez, N. 2013. Analysis of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz & Sacc. infection of avocado fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(3):898-905.

Rojo-Báez, I., García-Estrada, R. S., Sañudo-Barajas, A., León-Félix, J. y Allende-Molar, R. 2017. Proceso de infección de antracnosis por *Colletotrichum truncatum* en papaya Maradol. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39:1-5.

Ruiz-Sánchez, E., Mejía-Bautista, M. Á., Cristóbal-Alejo, J., Valencia-Botín, A. y Reyes-Ramírez, A. 2014. Actividad antagónica de filtrados de *Bacillus subtilis* contra *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7):1325-1332.

SAGARPA, 2000. Las cadenas productivas agroalimentarias. Dirección General de Estudios para el Desarrollo Rural. México.

Sandle, T. 2014. *Trichoderma*. p. 644-646. En C.A. Batt y M.-L. Tortorello (Eds.) *Encyclopedia of Food Microbiology*, London, UK.

Santamaría-Basulto, F., Díaz-Plaza, R., Gutiérrez-Alonso, O., Santamaría-Fernández, J. y Larqué-Saavedra, A. 2011. Control de dos especies de *Colletotrichum* y su efecto sobre el color y sólidos solubles totales en frutos de papaya Maradol. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12:19-27.

Santander, A. J. 2012. Uso de *Trichoderma harzianum* Rifai y *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn para el control de (*Colletotrichum gloeosporioides* Pens.) causante de la antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.). Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 100 p.

Sanz, L., Montero, M., Redondo, J., Llobell, A. y Monte, E. 2005. Expression of an β -1,3-glucanase during mycoparasitic interaction of *Trichoderma asperellum*. *FEBS Journal*, 272:493-499.

Sarmiento, A. 2009. Control biológico in vitro e in vivo de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz causante de la antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.) con el uso de *Trichoderma* sp. Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 25p.

Scharf, D. H., Heinekamp, T. y Brakjage, A. A. 2014. Human and plant fungal pathogens: The role of secondary metabolites. PLOS Pathogens, 10(1):e1003859.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2017. www.gob.mx/sagarpa (Consultada en diciembre 2018).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 2020. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-rey-de-las-frutas-tropicales-mango?idiom=es> (Consultada en Noviembre 2021).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2015. Agricultura: Producción anual. SAGARPA. México. <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/> (Consultada en octubre 2020).

Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), 2018. www.siap.gob.mx (Consultada en diciembre 2018).

Shafi, J., Tian, H. y Ji, M. 2017. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. Biotechnology and Biotechnological Equipment, 31:446-459.

Sharma, V., Salwan, R. y Sharma, P. N. 2017. The comparative mechanistic aspects of *Trichoderma* and probiotics: scope for future research. Physiological and Molecular Plant Pathology, 100:84-96.

Siddiqui, Y. y Ali, A. 2014. *Colletotrichum gloeosporioides* (Anthracnose). En: Bautista-Baños, S. (ed.). Postharvest Decay: Control Strategies. Editorial Academic Publishers. Estados Unidos de América. pp 337-364.

Singh, S., Asad, A., Ahmad, A., Khan, N. y Hadi, S. 2001. Oxidative DNA damage by capsaicin and dihydrocapsaicin in the presence of Cu(II). *Cancer Letters*, 169(1):139-146.

Sivan, A. y Chet, I. 1989. The possible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhizosphere colonization. *Phytopathology*, 97:198-203.

Spadaro, D. y Gullino, M. L. 2004. State of the art and future prospects of the biological control of postharvest fruit disease. *International Journal of Food Microbiology*, 91:185-194.

Stephenson, S. A., Hatfield, J., Rusu, A. G., Maclean, D. J. y Manners, J. M. 2000. CgDN3: an essential pathogenicity gene of *Colletotrichum gloeosporioides* necessary to avert a hypersensitive-like response in the host *Stylosanthes guianensis*. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 13(9):929-941.

Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M. M. y Heydrich-Pérez, M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 42:131-138.

Torres-Calzada, C., Tapia-Tussell, R., Garcez-Nexticapan, A., Matin-Mex, R., Quijano-Ramayo, A., Cortes-Velázquez, A., Higuera-Ciapara, I. y Perez-Brito, D. 2011. First report of *Colletotrichum capsici* causing anthracnose in *Jatropha curcas* in Yucatan, Mexico. *New Disease Reports*, 23:6.

Torres-De la Cruz, M., Ortiz-García, C. F., Bautista-Muñoz, C., Ramírez-Pool, J. A., Ávalos-Contreras, N., Cappello-García, S., et al. 2015. Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86:947-961.

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. y Leyva-Mir, S. G. 2020. Distribution and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in Mexico. *Plant Disease*, 104(1):137-146.

Tucuch-Cauich, F. M., Palacios-Pérez, A., Ku-Naal, R. y Guzmán-Estrada, C., 2005. Manejo del cultivo de mango en el estado de Campeche. Folleto Técnico, INIFAP. CIR-Sureste. Campo Experimental Edzná. 45 pp.

Valdés, L. A., Calero-Consuegra, D., Carballo, M. E., Capote, M., González, I., Alvarez, J. M. y W, R. 2017. Caracterización morfológica, cultural y patogénica de aislados de *Colletotrichum* sp. produciendo antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.). La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 26(2). Universidad Politécnica Salesiana.

Vargas-Hoyos, H. A. y Gilchrist-Ramelli, E. 2015. Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de *Fusarium* aisladas de cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*). Revista Mexicana de Micología, 42:9-16.

Vázquez-Fuentes, S., Pelagio-Flores, R., López-Bucio, J. *et al.* 2021. N-vanillyloctanamide represses growth of fungal phytopathogens in vitro and confers postharvest protection in tomato and avocado fruits against fungal-induced decay. Protoplasma. <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01586-x> (Consultada en Octubre 2021).

Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I. y Santos-Villalobos, S. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. Revista Mexicana de Fitopatología, 36(1), 95-130.

Vos, C. M., Yang, B., De Coninck, B. y Cammue, B. P. A. 2014. Fungal biocontrol organism in tomato disease control. Biological Control, 74:65-81.

Waizel, J. y Morfín, R. 2011. El género *Capsicum* spp. (chile). Una versión panorámica. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica, 60(16):67.

Wang, X., Wang, L., Wang, J., Jin, P., Liu, H. y Zheng, Y. 2014. *Bacillus cereus* AR156-Induced Resistance to *Colletotrichum acutatum* Is Associated with Priming

of defense responses in loquat fruit. Public Library of Science ONE, 9(11):e112494.

Xu, Z., Shao, J., Li, B., Yan, X., Shen, Q. y Zhang, R. 2013. Contribution of bacillomycin D in *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to antifungal activity and biofilm formation. Applied Environmental Microbiology, 79:808-815.