



Revisión [Review]

**ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO UTILIZADAS PARA EL
MANEJO DE LA ANTRACNOSIS CAUSADA POR *Colletotrichum
gloeosporioides* EN FRUTOS DE MANGO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA[†]**

**[BIOLOGICAL CONTROL STRATEGIES USED FOR THE
MANAGEMENT OF ANTRACNOSIS CAUSED BY *Colletotrichum
gloeosporioides* IN MANGO FRUITS: A SYSTEMATIC REVIEW]**

**Ana Rosalba Díaz-Medina¹, Tatiana Arboleda-Zapata¹ and
Leonardo Alberto Ríos-Osorio^{2*}**

¹*Microbiología Industrial y Ambiental, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia, Calle 67 #53-108, Campus Universitario, Medellín – Colombia, C.P.050012*

²*Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia, Calle 67 #53-108, Campus Universitario, Medellín – Colombia, C.P. 050012. E-mail: leonardo.rios@udea.edu.co.*

* *Corresponding author*

RESUMEN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos tropicales más producidos en el mundo, sin embargo, durante la postcosecha es afectado por patógenos como *Colletotrichum gloeosporioides*, causante de la antracnosis del mango. Para controlar esta enfermedad generalmente se utilizan fungicidas sintéticos pero su uso prolongado puede provocar afectaciones a la salud y al ambiente; por lo cual el control biológico surge como alternativa para el manejo de esta enfermedad, dado que se considera una técnica efectiva y segura. Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo, describir las estrategias de control biológico utilizadas para el manejo de la antracnosis causada por *C. gloeosporioides* en frutos de mango; a partir de una revisión sistemática de la literatura científica. Se emplearon las bases de datos ScienceDirect, Scopus y Scholar Google. Se encontró que el mayor número de publicaciones se realizaron en los años 2013 y 2017, con Ataúlfo y Tommy Atkins como variedades más estudiadas y un mayor número de artículos reportados en México. El mecanismo más estudiado para el control de la antracnosis es el efecto de compuestos activos sobre el crecimiento micelial y los mayores porcentajes de inhibición fueron reportados con este mecanismo, aunque el mayor número de reportes fueron realizados para la categoría de microorganismos antagonistas. Se concluye que un profundo conocimiento de los mecanismos empleados para el control de la antracnosis permitirá adoptar medidas más efectivas, prácticas y confiables; logrando así mantener la calidad del mango durante el período de almacenamiento, distribución y comercialización.

Palabras clave: Antracnosis; *Colletotrichum gloeosporioides*; control biológico; *Mangifera indica* L; mecanismo de acción.

SUMMARY

The mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most produced tropical fruits in the world, however, during post-harvest it is affected by pathogens such as *Colletotrichum gloeosporioides*, which causes mango anthracnose. Synthetic fungicides are generally used to control this disease, but prolonged use can cause health and environmental effects; Therefore, biological control emerges as an alternative for the management of this disease, given that it is considered an effective and safe technique. The objective of this study was to describe the biological control strategies used for the management of anthracnose caused by *C. gloeosporioides* in mango fruits from a systematic review of the scientific literature. The ScienceDirect, Scopus and Scholar Google databases were used. It was found that the largest number of publications were made in 2013 and 2017, with Ataúlfo and Tommy Atkins as the most studied mango varieties and Mexico was the country with the highest number of articles reported. The most studied biological control mechanism was the effect of functional groups of microorganisms on mycelial growth and the highest percentages of inhibition were reported for this mechanism, although the greatest number of reports on control mechanisms were of the category of antagonistic microorganisms. It is concluded that knowledge about the mechanisms used to control anthracnose will allow adopting more effective, practical and reliable measures; thus, managing to maintain mango quality during the storage, distribution and marketing period.

[†] Submitted January 25, 2018 – Accepted June 15, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462

Keywords: Anthracnose; biological control; *Colletotrichum gloeosporioides*; *Mangifera indica* L; mechanism of action.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos tropicales más producidos en el mundo, perteneciente a la familia de las Anacardiáceas (Nawab *et al.*, 2017), se encuentra distribuido en una amplia zona geográfica, concentrándose en las regiones tropicales de Asia, África y América Latina (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017). Este fruto de consumo tiene gran importancia a nivel mundial, por su sabor y color, además, posee un alto valor nutricional y gran cantidad de compuestos bioactivos como antioxidantes, taninos, polifenoles, vitaminas y fibras dietéticas (Saleem Dar *et al.*, 2016); por consiguiente, genera un notable interés económico derivado de su aplicación en la industria alimentaria para la producción de jaleas, néctar, jugos, mermeladas, siropes, compotas, etc. Según la FAO, la producción mundial de mango en el año 2016 fue aproximadamente 46 millones de toneladas, siendo la India el principal país productor seguido por China, Tailandia, Indonesia, México, Pakistán y Colombia.

En Colombia, el área dedicada a los cultivos de mango ha aumentado a una tasa del 5% anual durante los últimos cuatro años, motivado en gran medida por la falta de competitividad que viven otros sectores agrícolas y por la apertura comercial que enfrenta el país. Los departamentos con mayor producción de mango son Cundinamarca, Tolima y Magdalena, dado que presentan condiciones aptas para su cultivo. Sin embargo, muchas variedades de mango son cultivadas en pequeñas huertas y no cuentan con un sistema de buenas prácticas de agricultura que le permitan ser más competitivas en el mercado (Asohofrucol y Corpoica, 2013).

Debido a que el mango es una fruta climatérica, es decir, que se ve afectada por las condiciones climáticas a las cuales se encuentra sometido luego de su cosecha, su calidad y vida útil son limitadas (Kim *et al.*, 2007), por lo que los frutos son altamente susceptibles a diversos patógenos, entre los que se encuentra *Colletotrichum gloeosporioides*, siendo el principal agente causal de la antracnosis; una de las patologías que genera mayores pérdidas económicas durante la postcosecha (Parra, 2008).

C. gloeosporioides, puede causar infecciones latentes y permanecer inactivo hasta la maduración de los frutos; deteniendo el proceso de infección hasta que ciertas circunstancias ambientales (humedad relativa superior al 95% y una temperatura entre 20 y 30 °C), permitan su desarrollo (Kamle *et al.*, 2013); por lo que las lluvias son determinantes para la producción y dispersión de los conidios, las cuales son el tipo de

inóculo más importante de este patógeno (Rivas y Carrizales, 2007).

El mecanismo de acción del hongo sobre el fruto se da cuando la conidiospora entra en contacto con la superficie, germina y forma un apresorio que se melaniza y permanece inactivo hasta la maduración (Parra, 2008), posteriormente se origina la hifa infectiva la cual penetra directamente la cutícula del fruto con la ayuda de enzimas poligalacturonasa y peptidasa (peptato liasa), que degradan y permiten la colonización de la pared celular y el resto del fruto (Pérez *et al.*, 2016).

La antracnosis afecta las plantas de mango con un ennegrecimiento total de las flores y hojas ocasionando marchitamiento (Parra, 2008). En cuanto a los síntomas en la superficie del fruto, se tienden a presentar lesiones oscuras, hundidas y de forma irregular; manifestando un alto grado de severidad después de periodos de clima húmedo y posiblemente una propagación de la enfermedad a la pulpa del fruto, proporcionándole un sabor desagradable o amargo (Núñez, 2012). Sin embargo, el contenido de fenoles en el exocarpo de los frutos juega un papel importante en los mecanismos de defensa propios del fruto frente al ataque por patógenos fúngicos (Pérez *et al.*, 2016).

Para controlar el desarrollo de la antracnosis en mango generalmente se utilizan fungicidas sintéticos, siendo los benzimidazoles efectivos como tratamientos poscosecha, no obstante, han sido retirados del mercado y prohibido su uso en países desarrollados (Gutiérrez *et al.*, 2004); debido a que estos productos tienden a resultar tóxicos y su uso prolongado puede conducir a la aparición de cepas resistentes, lo que ocasionaría efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana por la acumulación de trazas de estos ingredientes químicos. Por lo que se han propuesto otras alternativas de control como inmersión de los frutos en agua caliente, aplicación de sales inorgánicas, almacenamiento en atmósferas controladas y modificadas, además se han usado productos naturales biológicamente activos como ácido acético, propóleo, quitosano, extractos vegetales y estrategias de control biológico (Ong y Ali, 2015).

El control biológico o el uso de microorganismos antagonistas, ha surgido como una alternativa viable para el control de enfermedades en pre y poscosecha (Hernández *et al.*, 2007), debido a que es una de las técnicas más efectivas y seguras para el consumidor y el ambiente (Mejía *et al.*, 2008). Los microorganismos utilizados como agentes de biocontrol se pueden aislar de la superficie de las frutas y hojas o también pueden ser inoculados artificialmente en contra de los patógenos (Núñez, 2012). Es por esto que se hace

necesario tener conocimientos de los microorganismos con potencial para el biocontrol y de los mecanismos de acción involucrados, para posteriormente desarrollar técnicas que aseguren un manejo adecuado de la enfermedad; disminuyendo así los limitantes de la productividad en el cultivo de frutos como el mango.

Por lo anterior, el objetivo principal de este estudio fue describir las estrategias de control biológico utilizadas para el manejo de la antracnosis causada por *C. gloeosporioides* en frutos de mango; a partir de una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos 11 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia de búsqueda

Esta investigación teórica fue realizada de acuerdo con la declaración Prisma (Urrútia y Bonfill, 2010). La pregunta de investigación planteada fue la siguiente: ¿Cuáles son las estrategias de control biológico utilizadas para el manejo de la antracnosis causada por

C. gloeosporioides en frutos de mango, referenciadas en la literatura científica?

En primera instancia se consultaron tres bases de datos, una especializada (ScienceDirect), una multidisciplinaria (Scopus) y una genérica (Google Académico), a partir de las cuales se realizó una búsqueda sistemática de literatura teniendo en cuenta criterios de sensibilidad con el uso de los siguientes descriptores DeCS: *Colletotrichum*, *mango*, *control*; los criterios de exhaustividad se garantizaron con el uso de descriptores no DeCS : *anthracnose* y *management*; y la especificidad en la investigación se aseguró con la combinación de operadores booleanos: OR y AND; además se realizó la búsqueda de tesis, libros, actas de congreso e informes científicos y técnicos, tomados como literatura gris. Se utilizó la siguiente ruta general de acuerdo al tópico elegido y a las bases de datos empleadas: ((*Colletotrichum* OR *anthracnose*) AND *mango*) AND (*Control* OR *management*).

Las rutas específicas en las respectivas bases de datos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Rutas empleadas para realizar la búsqueda de artículos en las diferentes bases de datos

Base de datos	Ruta
ScienceDirect	> 2006 and TITLE-ABSTR-KEY(((<i>Colletotrichum</i> OR <i>anthracnose</i>) AND <i>mango</i>)) AND TITLE-ABSTR-KEY((<i>Control</i> OR <i>management</i>))
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (((<i>colletotrichum</i> OR <i>anthracnose</i>) AND <i>mango</i>)) AND TITLE-ABS-KEY ((<i>control</i> OR <i>management</i>))) AND PUBYEAR > 2006 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, "j")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))
Scholar Google	((<i>Colletotrichum</i> OR <i>anthracnose</i>) AND <i>mango</i>) AND (<i>control</i> OR <i>management</i>) AND (theses or dissertations)

Con el fin de realizar un control sobre los artículos encontrados, las citas fueron importadas con su respectivo resumen a la herramienta Excel de Microsoft Office, en el cual se eliminaron las citas duplicadas entre las bases de datos.

Criterios de inclusión y exclusión

Para la selección de la literatura utilizada, se tuvieron en cuenta artículos originales de investigación, con un límite de tiempo de 11 años (enero de 2007 a enero de 2018), escritos en idioma inglés, con presencia de los descriptores anteriormente planteados. Se estimaron aquellos artículos donde se describió el mecanismo de acción de la herramienta biológica empleada en el control de la antracnosis y artículos que especificaron

remoción de la enfermedad después de la estrategia de control biológico utilizada. Además de la literatura gris encontrada en el idioma español obtenida mediante la herramienta de búsqueda Google Académico. Se eliminaron aquellos artículos donde se emplearon cepas ATCC para el control de la antracnosis. Los datos de cada publicación fueron tabulados mediante la herramienta Microsoft® Excel.

El criterio de reproducibilidad se garantizó mediante la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión de forma independiente por parte de los investigadores, las discrepancias fueron resueltas por un tercer investigador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la metodología de búsqueda bibliográfica descrita anteriormente, se logró obtener un total de 124 artículos, publicados entre 2007 y 2018, de los cuales 27 corresponden a la base de datos ScienceDirect y 97 a Scopus. A partir de estos, mediante la herramienta Microsoft® Excel se eliminaron 12 artículos que se encontraban duplicados entre las bases de datos, para un total de 112 artículos resultantes; de los cuales

fueron descartados 86 artículos por no cumplir con los criterios de inclusión o cumplir con los criterios de exclusión determinados de acuerdo con la pregunta de investigación. Finalmente, la revisión sistemática se realizó con 26 artículos de investigación originales, además de la literatura científica no indexada encontrada en Scholar Google, correspondiente a 2 artículos científicos publicados en revistas no indexadas; para un total de 28 artículos analizados (Figura 1).

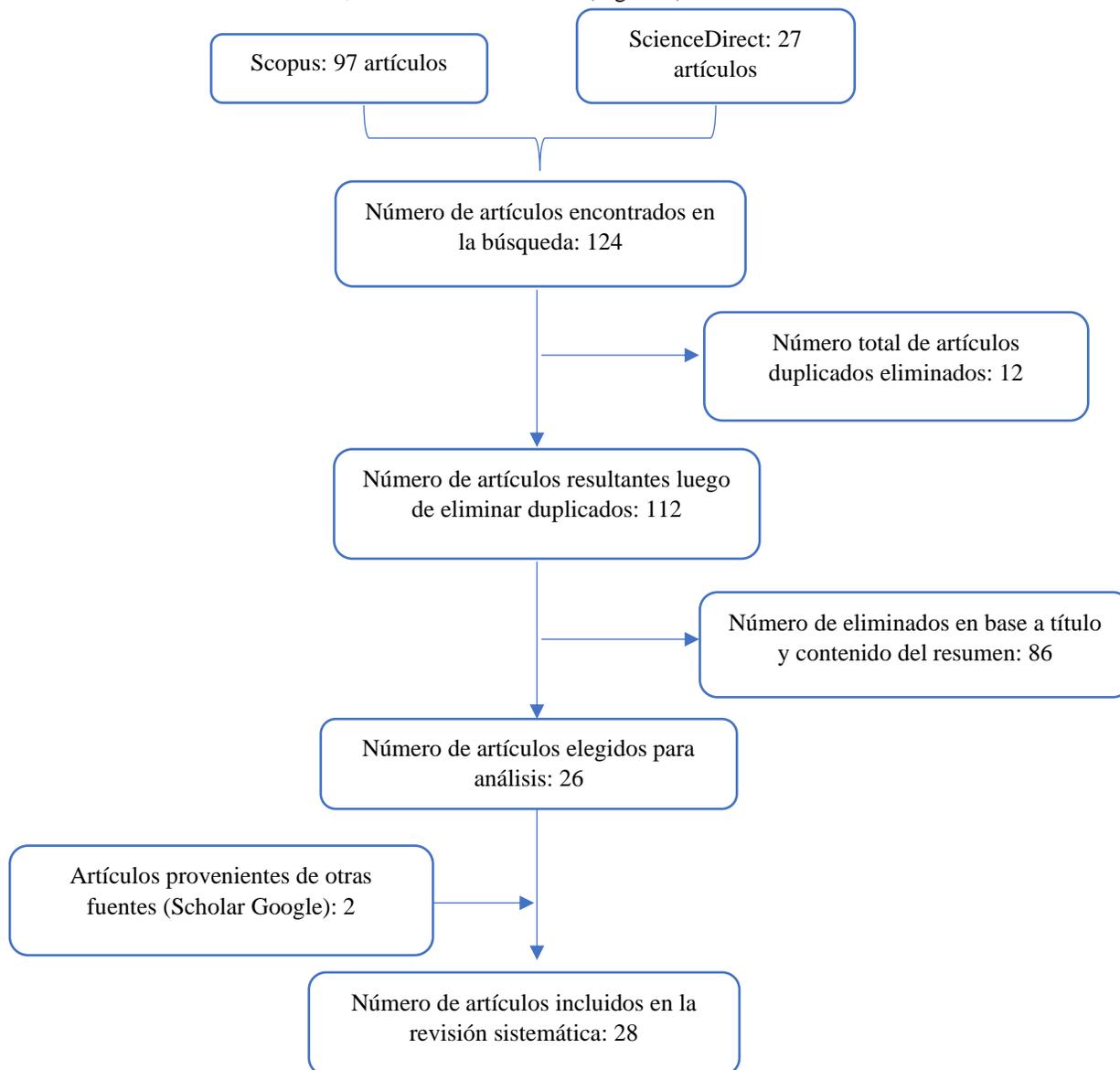


Figura 1. Diagrama del proceso de búsqueda de los artículos empleados en la revisión.

Dentro de las 28 publicaciones utilizadas para la revisión sistemática, se encontró que estudios concernientes a estrategias biológicas para el manejo de la antracnosis en el mango, se realizaron en alrededor de 11 países, de los cuales el país con mayor número de publicaciones es México seguido de

Tailandia y República Popular China, estos últimos con igual número de publicaciones; por otra parte; los países que registraron el número más bajo de publicaciones revisadas son Venezuela, Etiopía, Pakistán y Sri Lanka (Figura 2).

México es el quinto productor más importante de mango en el mundo, esto se debe a que cuenta con las condiciones climáticas ideales y las condiciones geográficas necesarias para el pleno desarrollo de su cultivo (Ayala *et al.*, 2009). Sin embargo, no exporta volúmenes notables, puesto que el mango se vuelve poco atractivo para su comercialización local y exportación. El problema fundamental es el control de la Antracnosis, donde *Colletotrichum gloeosporioides* se encuentra en el territorio mexicano en toda la superficie que se destina a su cultivo; registrándose su presencia durante el desarrollo, madurez, post cosecha y almacenamiento del mango. A pesar de ser un problema que afecta a escala internacional, los

estudios son pocos comparados con investigaciones de otros cultivos. Es por esto, que en los últimos años México ha venido incursionando en investigaciones académicas realizadas sobre un control efectivo de antracnosis en mango (Ríos, 2018).

En la Figura 3 se muestra los estudios publicados en el intervalo de tiempo evaluado, evidenciando que la mayoría de las publicaciones se realizaron en los años 2013 y 2017. Sin embargo, dentro de estos años se presentan fluctuaciones en el número de estudios sobre el tema de investigación, presentando un número menor de artículos en otros años.

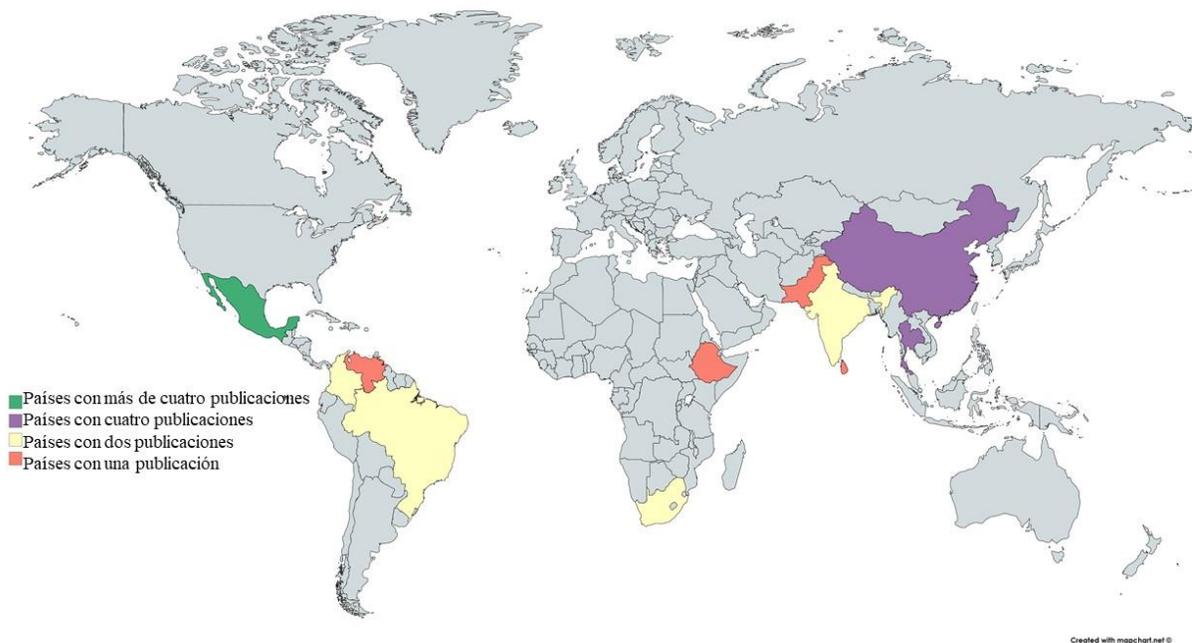


Figura 2. Distribución geográfica del número de publicaciones sobre el control biológico de la antracnosis en mango.

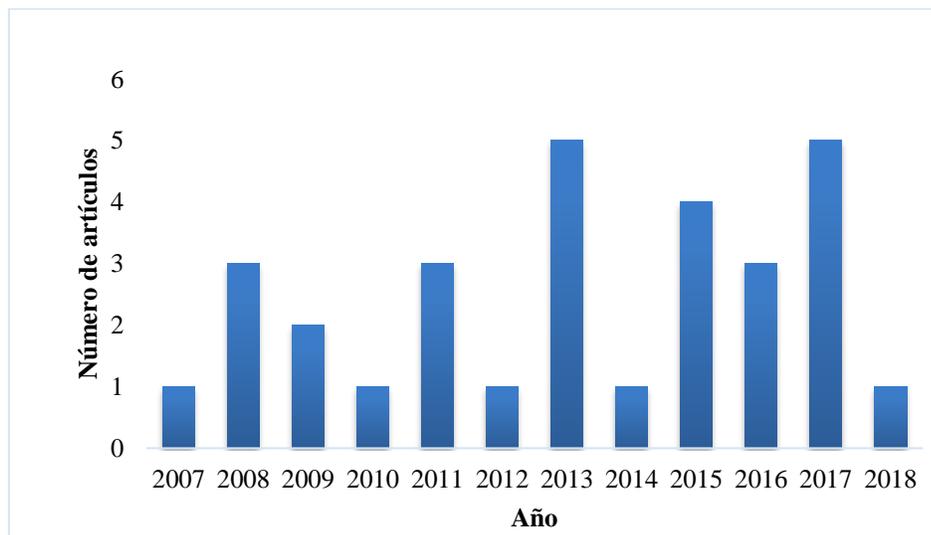


Figura 3. Número de artículos empleados en la revisión sistemática publicados en el intervalo 2007-2018.

A continuación, se muestran los cultivares de mango empleados para investigar el control de la antracnosis y el número de artículos donde son reportados. A pesar de que un gran número de publicaciones no reporta como tal un cultivar específico, se presentan Ataúlfo y Tommy Atkins como variedades más estudiadas,

especies endémicas de México e India, respectivamente.

En la tabla 2 se presentan las citas de los artículos elegidos con su respectiva información; también se encuentran los artículos de revistas no indexadas correspondientes a la literatura gris.

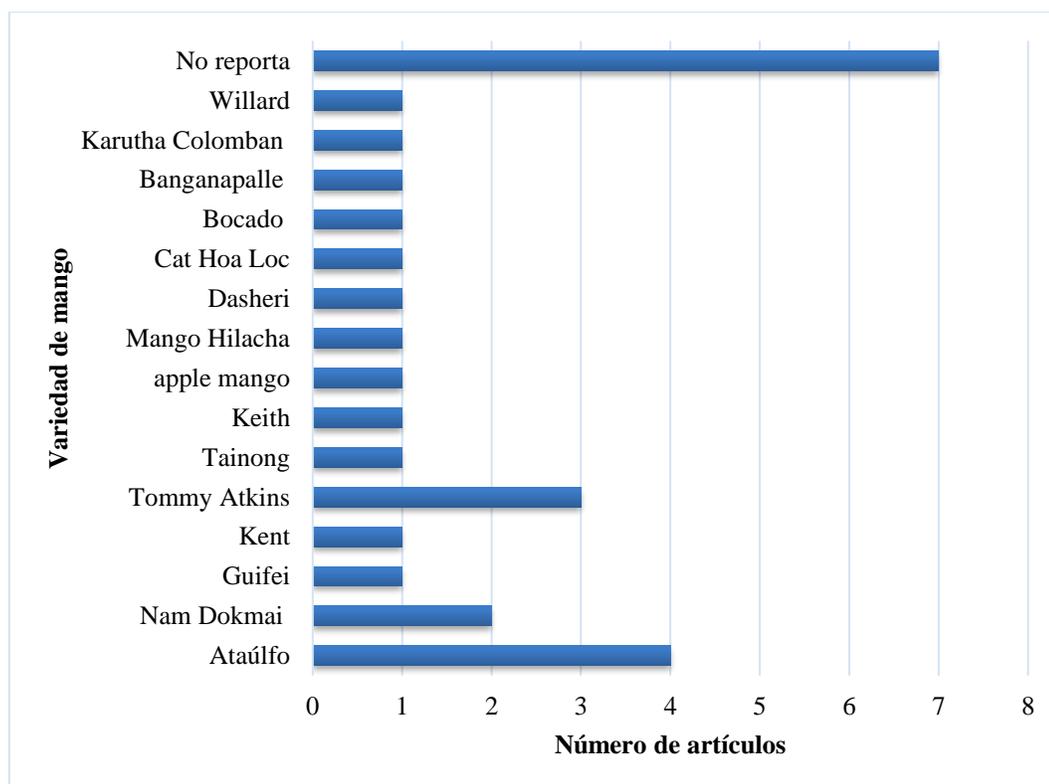


Figura 4. Variedades de mango descritas en los diferentes artículos empleados en la revisión sistemática.

Mecanismos de control biológico

Entre las enfermedades de postcosecha, la antracnosis, es la restricción biológica más importante que limita la producción de mango en cualquier región tropical y subtropical en todo el mundo, alcanzando pérdidas de hasta 60% o más en producción, puesto que en la fruta no madura esta enfermedad actúa como una infección inactiva y puede manifestar sus síntomas durante o después del proceso de maduración (Mattiuz *et al.*, 2015). En los últimos años se han propuesto alternativas para el manejo de la antracnosis, diferentes al control químico, basados en mecanismos de control biológico, como la manipulación genética de las especies o aplicación de sustancias inhibidoras del crecimiento del patógeno en el cultivo (Nicholls, 2008). Un mecanismo de control biológico hace referencia a un fenómeno natural que involucra un conjunto de reacciones metabólicas, bioquímicas, mecánicas y/o físicas para desencadenar la inhibición parcial o total de un agente patógeno. (Layton *et al.*, 2011).

Entre las enfermedades de postcosecha, la antracnosis, es la restricción biológica más importante que limita la producción de mango en cualquier región tropical y subtropical en todo el mundo, alcanzando pérdidas de hasta 60% o más en producción, puesto que en la fruta no madura esta enfermedad actúa como una infección inactiva y puede manifestar sus síntomas durante o después del proceso de maduración (Mattiuz *et al.*, 2015).

En los últimos años se han propuesto alternativas para el manejo de la antracnosis, diferentes al control químico, basados en mecanismos de control biológico, los cuales son un fenómeno natural que involucra un conjunto de reacciones metabólicas, bioquímicas, mecánicas y/o físicas para desencadenar la inhibición parcial o total de un agente patógeno (Layton *et al.*, 2011). Entre estos mecanismos se puede citar la manipulación genética de las especies y la aplicación de sustancias inhibidoras del crecimiento del patógeno en el cultivo (Nicholls, 2008).

Tabla 2. Artículos incluidos en la revisión sistemática.

Autor	Revista	Base de datos
(Bautista <i>et al.</i> , 2013)	Biological Control	Scopus
(Bautista <i>et al.</i> , 2014)	Crop Protection	Scopus
(Berumen <i>et al.</i> , 2015)	Investigación y ciencia	Scholar Google
(Bolívar <i>et al.</i> , 2009)	Revista científica UDO Agrícola	Scholar Google
(De los Santos <i>et al.</i> , 2013)	Biological Control	Scopus
(De Rodríguez <i>et al.</i> , 2011)	Industrial Crops and Products	ScienceDirect
(Dubey <i>et al.</i> , 2008)	Journal of Food Safety	Scopus
(España <i>et al.</i> , 2017)	Industrial Crops and Products	Scopus
(Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017)	Acta Agronómica	Scopus
(Hernandez <i>et al.</i> , 2017)	Journal of Phytopathology	Scopus
(Jitareerat <i>et al.</i> , 2007)	New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science	Scopus
(Karim <i>et al.</i> , 2017)	Planta Daninha	Scopus
(Karunanayake <i>et al.</i> , 2011)	Journal of Phytopathology	Scopus
(Lima <i>et al.</i> , 2018)	International Journal of Food Microbiology	Scopus
(Mashigo <i>et al.</i> , 2015)	South African Journal of Botany	Scopus
(Mattiuz <i>et al.</i> , 2015)	Scientia Horticulturae	ScienceDirect
(Ortega <i>et al.</i> , 2009)	Marine Biotechnology	Scopus
(Osorio <i>et al.</i> , 2012)	Agronomía Colombiana	Scopus
(Perumal <i>et al.</i> , 2016)	International Journal of Food Science and Technology	Scopus
(Rajaofera <i>et al.</i> , 2018)	Pesticide Biochemistry and Physiology	ScienceDirect
(Regnier <i>et al.</i> , 2008)	Postharvest Biology and Technology	ScienceDirect
(Rungjindamai, 2016)	Journal of Plant Protection Research	Scopus
(Sefu <i>et al.</i> , 2015)	Carpathian Journal of Food Science and Technology	Scopus
(Thinh y Kunasakdakul, 2013)	Journal of Agricultural Science	Scopus
(Yenjit <i>et al.</i> , 2010)	Postharvest Biology and Technology	ScienceDirect
(Zhang <i>et al.</i> , 2013)	Scientia Horticulturae	ScienceDirect
(Zheng <i>et al.</i> , 2013)	Biological Control	Scopus
(Zhu <i>et al.</i> , 2008)	Journal of Food Processing and Preservation	Scopus

De acuerdo a los resultados encontrados en esta revisión, se han definido dos categorías que se usan en el control biológico de la antracnosis en mango; la primera hace mención a los derivados de productos orgánicos y la segunda al uso de microorganismos antagonistas.

Sustancias derivadas de productos orgánicos

Las sustancias derivadas de productos orgánicos representan una alternativa para el desarrollo de fungicidas naturales, dado que son un método selectivo, seguro para el ser humano y no contamina el ambiente (Mattiuz *et al.*, 2015); estos productos naturales pueden actuar sobre el patógeno a partir de diferentes mecanismos de acción como la inducción de la resistencia sistémica de las plantas y el efecto que pueden ejercer los compuestos activos sobre el crecimiento del micelio del hongo (Tabla 3).

Las plantas han desarrollado diferentes sistemas de defensa como respuesta a la presión ejercida por factores bióticos y abióticos, relacionados a un tipo de respuesta, que puede ser constitutiva o inducida (sistémica) (Dotor y Cabezas, 2014). La fruta del mango inmadura tiene un elaborado sistema de defensas constitutivas dado que contiene resorcinolos, galotaninos y enzimas quitinasas que evitan la quiescencia de *C. gloeosporioides* (Karunanayake *et al.*, 2011).

La resistencia sistémica se genera luego de que la planta detecta que está siendo afectada por un patógeno y, por consiguiente, responde al ataque a partir de la producción de sustancias que inhiben el crecimiento del micelio, la producción de esporas y/o germinación (Dotor y Cabezas, 2014). Este mecanismo anteriormente descrito, alberga estudios sobre el uso de productos naturales como el quitosano, el cual es utilizado para la conservación de la calidad de la fruta después de la cosecha. El recubrimiento

natural formado por el quitosano, regula el intercambio de gases y el gradiente de humedad entre la fruta y el ambiente, modificando la atmósfera dentro de la fruta al reducir los niveles de O₂ y aumentar el contenido de CO₂ y, en consecuencia, suprimir la evolución del etileno; permitiendo así el retraso de la maduración del mango y por lo tanto la prolongación de su vida útil (Mattiuz *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2008).

En la investigación presentada por Mattiuz *et al.*, (2015) los mangos tratados con quitosano mantuvieron una mayor firmeza, matiz y un mayor nivel de ácidos orgánicos, como un menor contenido de sólidos solubles totales; siendo la concentración de este polímero un factor clave en la reducción de la enfermedad. Los resultados son consistentes con los presentados por Zhu *et al.*, (2008), donde los mangos tratados con concentraciones más altas de quitosano presentaron un retraso en la maduración. También se ha demostrado que el quitosano actúa como agente quelante de nutrientes esenciales e interfiere en la síntesis proteica, como consecuencia de la capacidad para atravesar la membrana celular y posteriormente unirse al ADN; inhibiendo así el crecimiento del hongo (Bautista *et al.*, 2017).

Son escasas las investigaciones que evalúen la respuesta bioquímica y molecular en la etapa postcosecha de los frutos ante la aplicación de este biopolímero. Según los autores Berumen *et al.*, (2015) y Gutiérrez *et al.*, (2017) el quitosano también induce la expresión de peroxidasa (POD) y polifenol oxidasa (PPO), lo cual se puede asociar a que el quitosano actúa de manera sinérgica con el patógeno, potencializando una señal desde el contacto con el hospedero y activando, por ende, los genes de defensa del fruto; dándose así una acumulación de H₂O₂ y una fortificación de la pared celular, así como una señal de alerta para otras partes de la planta. También señalan que la actividad de estas enzimas coincide con una considerable disminución en la aparición de *Colletotrichum* en los frutos de mango; presentándose una mayor actividad en cultivares de mayor resistencia como Keitt o Zill.

Para el control de la antracnosis, el quitosano también puede asociarse con otros tratamientos como los propóleos, los cuales presentan constituyentes que les confieren propiedades antibióticas, siendo los flavonoides y fenoles los más destacados en este producto. Debido a esto, se ha evaluado el efecto integrado de quitosano con propóleo en frutos de mango, donde la eficacia *in vitro* en términos de crecimiento y porcentaje de inhibición del hongo *C. gloeosporioides*, incrementó con el aumento de la concentración (1.5%) de ambos productos probados; retrasando el proceso de maduración y mejorando los parámetros de calidad de la fruta (Mattiuz *et al.*, 2015).

Según Zhang *et al.*, (2013) el ácido β-aminobutírico (BABA) también puede ser eficaz para inducir la resistencia contra *C. gloeosporioides*, lo cual podría asociarse a la activación de mecanismos de defensa en la fruta de mango; debido a que mejora la actividad de las proteínas relacionadas con la defensa tales como β-1,3-glucanasa (GLU), quitinasa (CTH) y fenilalanina amoníaco liasa (PAL). Se ha demostrado que GLU, puede hidrolizar algunos de los glucanos presentes en la pared celular del hongo, mientras que la enzima CTH degrada la quitina, componente esencial de dicha pared. Por su parte PAL es una enzima reguladora clave en la vía de los fenilpropanoides, y un aumento en su actividad, se asocia con la biosíntesis de metabolitos activos tales como fitoalexinas, fenoles, taninos y ligninas.

Otro mecanismo empleado para controlar *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango, es el que se basa en la acción de los compuestos activos presentes en sustancias naturales. La mayoría de las investigaciones se han enfocado en indagar sobre el efecto de los aceites esenciales de plantas en el crecimiento micelial; estos aceites pueden ser sintetizados por todas las partes de la planta y son almacenados en células secretoras, cavidades, canales, células del epitelio o tricomas glandulares (Mashigo *et al.*, 2015; Sefu *et al.*, 2015).

El mecanismo de acción de los aceites esenciales para inhibir el crecimiento micelial, hasta ahora no está completamente descrito; algunas investigaciones reportan que está relacionado con alteraciones morfológicas que sufren la hifas, las cuales parecen colapsar, flexionarse o muestran alteraciones superficiales, también pueden provocar reducción del espesor de la pared celular y del diámetro de las hifas del patógeno o se puede presentar una lesión extensa de la membrana celular (Perumal *et al.*, 2016). Además, los aceites esenciales también pueden actuar sobre las enzimas pectinasas y celulasas que utiliza el hongo durante la patogénesis (Dubey *et al.*, 2008).

Otros metabolitos secundarios relacionados con los aceites esenciales de las plantas que se han descrito contra *Colletotrichum gloeosporioides* son los terpenos y ácidos grasos. Los terpenos volátiles presentes en aceites esenciales son principalmente monoterpenos y su actividad antifúngica está relacionada con sus características químicas y estructurales; debido a que se ha demostrado que solo los que tienen funcionalidades del oxígeno (grupos hidroxilo o carboxilo) presentan bioactividad contra patógenos de plantas, estos compuestos actúan causando daños en la membrana y pueden dar lugar a una fuga de electrolitos y un posterior agotamiento de aminoácidos y azúcares, mientras que otros se pueden insertar selectivamente en la porción rica en lípidos de la membrana celular, perturbando su función e interfiriendo también con las

reacciones enzimáticas que participan en la síntesis de la pared celular (Regnier *et al.*, 2008; Yenjit *et al.*, 2010).

Por otro lado, los ácidos grasos derivados de plantas y con actividad antifúngica pueden ser absorbidos por el hongo, debido a la parte lipídica del ácido graso y a la naturaleza lipófila del tejido fúngico, inhibiendo así la elongación del tubo germinal y causando la desintegración de la membrana plasmática de las esporas (Yenjit *et al.*, 2010). Los ácidos grasos que tienen menos de 13 átomos de carbono muestran una mayor actividad que los que tienen un número de carbonos mayor, como lo reportado por (Yenjit *et al.*, 2010) donde el ácido láurico exhibió mayor actividad que los ácidos grasos que tenían más de 12 carbonos

además Thinh y Kunasakdakul (2013) demostraron que el ácido propiónico inhibe en gran parte la germinación de las esporas de *C. gloeosporioides*.

Cabe resaltar que la bioactividad de los aceites esenciales se ve influenciada por el clima, la distribución geográfica (Bolívar *et al.*, 2009; Mashigo *et al.*, 2015), la parte de la planta de la cual se obtiene el extracto (Karim *et al.*, 2017) y el tiempo de almacenamiento de la fruta luego de aplicar el aceite (Lima *et al.*, 2018). Por otro lado, el solvente que se utiliza para realizar la extracción de compuestos bioactivos también juega un papel importante en la composición y en la actividad antifúngica (De Rodríguez *et al.*, 2011; España *et al.*, 2017).

Tabla 3. Mecanismos de las sustancias derivadas de productos orgánicos empleadas para el control de la antracnosis causada por *C. gloeosporioides*, en diferentes cultivares de mango.

Mecanismo	Género/especie o sustancia	Varietal de mango	Referencia	
Inducción de la resistencia sistémica	Ácido B-aminobutírico	Guifei	(Zhang <i>et al.</i> , 2013)	
	Látex	Karutha Colomban, Willard	(Karunanayake <i>et al.</i> , 2011)	
	Propóleo y quitosano	Kent	(Mattiuze <i>et al.</i> , 2015)	
	Quitosano	Tommy Atkins		(Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017)
		Tainong		(Zhu <i>et al.</i> , 2008)
		No reporta		(Jitareerat <i>et al.</i> , 2007)
		Tommy Atkins		(Berumen <i>et al.</i> , 2015)
Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial	<i>Areca catechu</i>	Nam-Dork Mai	(Yenjit <i>et al.</i> , 2010)	
	<i>Lippia scaberrima</i>	Keith	(Regnier <i>et al.</i> , 2008)	
	<i>Lippia graveolens</i> , <i>Agave lechuguilla</i> , <i>Yucca carnerosan</i> , <i>Yucca filifera</i>	No reporta	(De Rodríguez <i>et al.</i> , 2011)	
	<i>Thymus vulgaris L.</i> , <i>Syzygium aromaticum L.</i> , <i>Cinnamo-mum Zeylanicum anís</i> , <i>Pimpinella anisum</i> , <i>Vitex negundo</i>	Banganapalle	(Perumal <i>et al.</i> , 2016)	
	<i>Datura metel</i>	No reporta	(Karim <i>et al.</i> , 2017)	
	<i>Zingiber officinale</i> , <i>Cinnamomum verum</i>	Apple mango	(Sefu <i>et al.</i> , 2015)	
	<i>Helichrysum splendidum</i>	No reporta	(Mashigo <i>et al.</i> , 2015)	
	Cera de abejas y ácido propiónico	Cat Hoa Loc	(Thinh y Kunasakdakul, 2013)	
	<i>Amomum subulatum</i>	Dasherri	(Dubey <i>et al.</i> , 2008)	
	Quitosano y <i>Cymbopogon citratus</i>	Tommy Atkins	(Lima <i>et al.</i> , 2018)	
	<i>Eucalyptus camaldulensis.</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Eucalyptus tereticornis</i>	No reporta	(España <i>et al.</i> , 2017)	
	CapsiAlil, EcoSwing, Desfan, Xplode SL, swinglea stract.	Mango Hilacha	(Osorio <i>et al.</i> , 2012)	
	<i>Azadirachta indica</i> , <i>Phyllanthus niruri</i> , <i>Calotropis procera</i> , <i>Lippia organoides</i> , <i>Gliricidia sepium</i> y <i>Heliotropium indicum</i>	Bocado	(Bolívar <i>et al.</i> , 2009)	

Microorganismos antagonistas

Para el control de la antracnosis también se ha investigado sobre el uso de microorganismos antagonistas (Tabla 4) los cuales emplean diversos mecanismos tales como antibiosis, producción de enzimas líticas, parasitismo, formación de biopelículas, además de competencia por espacio y nutrientes.

El primer mecanismo de acción comprende la competencia por espacio y nutrientes, el cual se define como la demanda simultánea de los mismos recursos por dos o más poblaciones microbianas, en este proceso el microorganismo antagonista asimila los nutrientes disponibles con más rapidez y en mayor cantidad que los tubos germinativos de hongos patógenos filamentosos (Guerrero *et al.*, 2011). Un ejemplo de ello es el uso de levaduras antagonistas debido que se interponen entre el patógeno y el sustrato, limitando así el crecimiento de *C. gloeosporioides*, además presentan la capacidad de asimilar con éxito una gran variedad de mono y disacáridos, los cuales no se encontrarán disponibles para el patógeno. Esto se demuestra en los resultados obtenidos por (Bautista *et al.*, 2014; Bautista *et al.*, 2013) donde *Meyerozyma caribbica* y *Cryptococcus laurentii* expresaron un alto grado de inhibición sobre *C. gloeosporioides* al competir por los carbohidratos primarios, sacarosa y fructosa, presentes en cultivares de mango Ataúlfo. Sin embargo, cuando hay nutrientes en exceso, los microorganismos no adoptan este mecanismo, como lo demostrado por Bautista *et al.*, (2014), en donde se observó un aumento de 68% en el diámetro de la lesión cuando bajo condiciones *in vivo* se estudió el comportamiento de *C. laurentii* contra *C. gloeosporioides* al añadir sacarosa en exceso.

En el huésped, levaduras y bacterias reducen la glucosa, sacarosa y fructosa debido a su rápida tasa de crecimiento, limitando así la germinación de esporas del hongo (Hernández *et al.*, 2017). Aunque hay poca información disponible respecto al estudio de microorganismos antagonistas aislados de ambientes marinos, Hernández *et al.* (2017) demostraron que la germinación de esporas de *C. gloeosporioides* fue inhibida por las levaduras marinas y cepas de bacterias estudiadas en una prueba *in vitro*, donde la levadura *D. hansenii* cepa 1R11CB y la bacteria *S. rhizophila* cepa KM02; redujeron de forma significativa la incidencia de la enfermedad; siendo esta última reportada por primera vez para control de enfermedades postcosecha.

Otro mecanismo importante es la formación de biopelículas, los cuales sirven como nichos de protección contra agentes patógenos, en este proceso, los microorganismos se agregan en un exopolímero que se encuentran adherido a una superficie. Muchas

levaduras emplean este mecanismo y al ser colonizadores primarios excluyen a otros posibles colonizadores potenciales (Bautista *et al.*, 2013). En la investigación presentada por Bautista *et al.*, (2013), se detecta la presencia de una biopelícula madura generada por *M. caribbica* la cual puede asociarse con mecanismos de competencia por espacio y nutrientes y parasitismo contra el fitopatógeno *C. gloeosporioides*. En un estudio similar, también se evidenció la producción de biopelículas maduras en tratamientos *in vitro* e *in vivo* donde emplearon la levadura *C. laurentii*: la biopelícula formada por este microorganismo está compuesta por proteínas y ácido glucurónico; y por un heteropolisacárido de arabinosa, manosa, xilosa, glucosa, galactosa y ramnosa (Bautista *et al.*, 2014). Cabe resaltar que las levaduras presentan la capacidad de adherirse a las hifas del patógeno y de producir enzimas líticas, mecanismo por el cual, a partir de enzimas extracelulares se degrada la pared celular del hospedante, tal es el caso de *M. caribbica* la cual durante el proceso de adhesión genera muescas en las hifas de *C. gloeosporioides*, distorsionándolas y finalmente provocando lisis celular; a través de enzimas glucanasas, quitinasas y proteasas (Bautista *et al.*, 2013). Otro proceso ocurre con *C. laurentii*, la cual no causó distorsión en las hifas del patógeno, sugiriendo que el proceso de adhesión puede estar relacionado con la competencia de nutrientes, además produce enzimas como glucanasa y quitinasa *in vitro* e *in vivo*; aunque el fruto por sí mismo también puede producirlas en respuesta a la detección de *C. gloeosporioides* (Bautista *et al.*, 2014).

Por otra parte, se ha reportado que *Trichoderma* spp actúa contra el patógeno mediante diversos mecanismos que incluyen parasitismo, producción de enzimas líticas, antibiosis y competencia por espacio y nutrientes (De los Santos *et al.*, 2013) Este autor evaluó 20 aislados de *Trichoderma* en tres importantes estados productores de México, donde se identificó que *T. asperellum* presenta mayor actividad de control biológico contra *C. gloeosporioides*, en condiciones *in vitro* e *in vivo*; observándose un sobrecrecimiento, posiblemente a través del micoparasitismo, el principal mecanismo estudiado en esta especie. Los ensayos de control presentados en este estudio, sugieren que las celulasas de *T. asperellum* debilitan e incluso lisan los micelios del patógeno, sin embargo, la actividad de control biológico no se puede atribuir a una enzima, sino al conjunto de enzimas líticas secretadas por *Trichoderma* (celulasas, quitinasas, glucanasas y proteasas); las cuales se inducen parcialmente antes del contacto con el huésped o incluso pueden depender de la fuente de carbono (De los Santos *et al.*, 2013; Rajaofera *et al.*, 2018); también fue demostrada la secreción de enzimas líticas por parte *Bacillus atrophaeus* que logró la supresión de la germinación conidial de varias cepas fúngicas y mostró la mejor actividad contra *C. gloeosporioides*; la bacteria

antagónica secreta quitinasas y proteasas, capaces de disolver las paredes de las células fúngicas (Rajaofera *et al.*, 2018).

Bacterias de género *Bacillus* se han explorado durante varios años como agentes de control biológico, los cuales presentan otro mecanismo de acción importante, la antibiosis, que se define como la capacidad de producir metabolitos antimicrobianos que pueden atenuar o inhibir a otros organismos. Es así como en la investigación realizada por Rajaofera *et al.*, (2018), se evidencia que *Bacillus atrophaeus* produce una sustancia que tiene potencial para inhibir eficazmente la antracnosis causada por *C. gloeosporioides*, dicha sustancia indujo anomalías morfológicas en las hifas del patógeno a una concentración muy baja; presentándose como candidato prometedor en la generación de agentes antifúngicos. Los compuestos orgánicos volátiles son otra consideración importante para el control de la enfermedad poscosecha, lo cual se demuestra en un estudio presentado por Zheng *et al.* (2013) donde las sustancias volátiles producidas por *B. thuringiensis* y *B. pumilus* tuvieron efectos inhibidores significativos sobre el crecimiento de micelios de *C. gloeosporioides* tanto *in vitro* como *in vivo*; concluyendo que además de 2-nonanona y timol, se presentaron otros compuestos bioactivos que incluían 2-decanona, 2-metilpirazina y β -bencenoetanamina, siendo estos últimos letales para el patógeno; debido a que generan

una fuerte retracción de la membrana plasmática, en las hifas y paredes celulares engrosamiento de las paredes en los conidios expuestos (Zheng *et al.*, 2013).

También fue estudiado el efecto antagónico de *Bacillus mojavensis* y *Bacillus firmus*, aislados de biopelículas marinas, los cuales mostraron actividad contra *C. gloeosporioides*, siendo más pronunciadas en medio marino YEA, debido a que probablemente el medio de cultivo les confiere las condiciones más adecuadas para la síntesis de moléculas bioactivas. Sin embargo, aunque su mecanismo de acción no fue determinado, se infiere que el mecanismo más factible es la síntesis de antibióticos lipoheptapéptidos, típicos de *Bacillus* spp, aunque otro tipo de moléculas no puede ser descartado (Ortega *et al.*, 2009). Aunque existen diversos hábitats que permiten aislar microorganismos que controlen eficazmente el patógeno de la antracnosis, es imprescindible explorar en primera instancia microorganismos epífitos aislados de la superficie del mango. Rungjindamai (2016) realizó 112 aislamientos de microorganismos epífitos de hojas sanas y frutos de mango, de los cuales dos aislamientos, correspondientes a *Bacillus* sp., redujeron los tamaños de lesión causados por *C. gloeosporioides*. Los resultados *in vitro* indicaron que los compuestos bioactivos pudieron haber sido producidos y difundidos en el medio de prueba, inhibiendo el fitopatógeno.

Tabla 4. Mecanismos de los microorganismos antagonistas usados en el manejo de la antracnosis causada por *C. gloeosporioides*, en variedades de mango.

Mecanismo	Género/especie o sustancia	Variedad de mango	Referencia
Competencia por espacio y nutrientes	<i>Meyerozyma caribbica</i>	Ataúlfo	(Bautista <i>et al.</i> , 2013)
	<i>Cryptococcus laurentii</i>	Ataúlfo	(Bautista <i>et al.</i> , 2014)
	<i>Debaryomyces hansenii</i> , <i>Rhodotorula minuta</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus diffluens</i> , <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Stenotrophomonas rhizophila</i> .	Ataúlfo	(Hernández <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Cryptococcus laurentii</i>	Ataúlfo	(Bautista <i>et al.</i> , 2014)
Formación de biopelículas	<i>Meyerozyma caribbica</i>	Ataúlfo	(Bautista <i>et al.</i> , 2013)
	<i>Cryptococcus laurentii</i>	Ataúlfo	(Bautista <i>et al.</i> , 2014)
Producción de enzimas líticas	<i>Trichoderma asperellum</i> , <i>Trichoderma spirale</i> y <i>Trichoderma brevicompactum</i> .	Ataúlfo	(De los Santos <i>et al.</i> , 2013)
	<i>Bacillus atrophaeus</i>	No reporta	(Rajaofera <i>et al.</i> , 2018)
	<i>Meyerozyma caribbica</i>	Ataúlfo	(Bautista <i>et al.</i> , 2013)
	<i>Bacillus atrophaeus</i>	No reporta	(Rajaofera <i>et al.</i> , 2018)
Antibiosis	<i>Bacillus pumilus</i> y <i>Bacillus thuringiensis</i>	No reporta	(Zheng <i>et al.</i> , 2013)
	<i>Bacillus</i> sp	Nam Dokmai	(Rungjindamai, 2016)
	<i>Bacillus mojavensis</i> y <i>Bacillus firmus</i>	No reporta	(Ortega <i>et al.</i> , 2009)

Niveles de inhibición

En las diferentes investigaciones donde se reportaban los mecanismos anteriormente descritos también se reportó un nivel de inhibición, lo cual evidencia la eficiencia que presentan estos mecanismos cuando se evalúan de manera *in vitro* o *in vivo*. En la tabla 5 se muestran los rangos de inhibición del crecimiento micelial, inhibición de esporulación o reducción de la lesión de acuerdo a las categorías de análisis descritas.

En la categoría de microorganismos antagonistas el rango en general para la inhibición del crecimiento micelial es de 30,7 a 60%, para inhibición de la esporulación el rango es de 50 a 97% y para porcentaje de reducción de la lesión el rango va de 30 a 92%.

La categoría de efectos de compuestos activos presenta rangos más amplios; el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de 7,46 a 100%, inhibición de esporulación de 30 a 100% y reducción de la lesión de 24 a 100%.

Los porcentajes más altos se presentaron en la categoría de derivados de productos orgánicos esto puede ser debido a que estos compuestos pueden tener un potencial antagonico mayor dado que estas sustancias pueden ser almacenadas y concentradas. Además, los mecanismos de estas sustancias actúan directamente sobre el patógeno y su efectividad no depende de la concentración de este, del área afectada y su efecto no se inhibe por la respuesta del patógeno como si puede suceder con la aplicación de microorganismos, también es importante tener en cuenta que estos derivados pueden ser aplicados para evitar la proliferación de patógeno, lo que quiere decir que pueden actuar sin la presencia del hongo, por el contrario la categoría de microorganismos sólo es aplicable cuando el fitopatógeno ha generado efecto en la fruta y se debe tener en cuenta el tiempo de acción dado que los microorganismos deben adaptarse para iniciar el proceso antagonico.

Tabla 5. Medida de la inhibición reportada en las diferentes investigaciones para el control de la antracnosis en mango.

Referencia	Inhibición del crecimiento micelial (%)	Inhibición de la esporulación (%)	Reducción de la lesión (%)	Mecanismo de acción
(Thinh y Kunasakdakul, 2013)	73	84,7		Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Karunanayake <i>et al.</i> , 2011)	-	-	40	Inducción de la resistencia sistémica
(Bautista <i>et al.</i> , 2013)	-	-	86,7	Competencia por espacio y nutrientes, formación de biopelículas y producción de enzimas líticas.
(Bautista <i>et al.</i> , 2014)	-	-	75,9	Competencia por espacio y nutrientes, formación de biopelículas y producción de enzimas líticas.
(Berumen <i>et al.</i> , 2015)	7,46-44,7	100	-	Inducción de la resistencia sistémica
(Bolívar <i>et al.</i> , 2009)	-	-	35	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
De los Santos <i>et al.</i> 2013	-	77-91	-	Producción de enzimas líticas
(Dubey <i>et al.</i> , 2008)	100	-	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(España <i>et al.</i> , 2017)	50-98	-	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017)	-	-	100	Inducción de la resistencia sistémica

(Hernández <i>et al.</i> , 2017)	-	50-97	30-92	Competencia por espacio y nutrientes
(Karim <i>et al.</i> , 2017)	80	-	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Mashigo <i>et al.</i> , 2015)	51	-	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Mattiuz <i>et al.</i> , 2015)	-	89,3-100	-	Inducción de la resistencia sistémica
(Osorio <i>et al.</i> , 2012)	88-95	69-98	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Jitareerat <i>et al.</i> , 2007)	-	0-30	-	Inducción de la resistencia sistémica
(Perumal <i>et al.</i> , 2016)	50-100	-	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Rajaofera <i>et al.</i> , 2018)	30,7-67,3	-	-	Producción de enzimas líticas
(Regnier <i>et al.</i> , 2008)	100	-	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(De Rodríguez <i>et al.</i> , 2011)	39-100	53,8-100	-	Efectos de compuestos activos sobre el crecimiento micelial
(Rungjindamai, 2016)	60	-	-	Antibiosis
(Zhang <i>et al.</i> , 2013)	-	-	24-35	Inducción de la resistencia sistémica
(Zheng <i>et al.</i> , 2013)	34,6-88,9	-	-	Antibiosis
(Zhu <i>et al.</i> , 2008)	-	-	49,8-71,3	Inducción de la resistencia sistémica

CONCLUSIONES

Existe una gran diversidad de productos naturales y de microorganismos que pueden emplearse como controladores biológicos de la antracnosis. Sin embargo, se hace necesario el desarrollo de más investigaciones que permitan garantizar la seguridad de las cepas y de las sustancias estudiadas, como también aumentar su efectividad; con el fin de optimizar recursos que suplan las demandas de los cultivadores de mango.

A pesar de los efectos positivos demostrados con la aplicación del quitosano; se requieren más estudios sobre su aplicación a gran escala y su integración en prácticas comerciales; además de investigaciones que involucren el manejo integrado de este producto con el propóleo; puesto que es un producto potencial para controlar la enfermedad postcosecha en mango.

La medida de la reducción de la lesión es una alternativa importante para investigación del control de antracnosis debido a que es lo que da cuenta de

calidad del mango en el mercado. Una mejora en este indicador puede ofrecer a los productores certificar la calidad de sus productos y por consiguiente obtendrán ventajas competitivas en mercados nacionales e internacionales.

B. atrophaeus se convierte en un agente prometedor para el control de la antracnosis, puesto que genera un compuesto bioactivo con propiedades antagonicas; por lo que se hace necesario incursionar en metodologías para su producción a gran escala. Del mismo modo, el estudio de ambientes marinos y de microorganismos epífitos aislados de cultivares de mango, proporcionarían un enfoque novedoso para el manejo integrado de la antracnosis.

Meyerozyma caribbica y *Cryptococcus laurenti* son agentes antagonicos que pueden ser empleados ampliamente en el manejo de la antracnosis, ya que presentan diversos mecanismos de acción los cuales inhiben de manera eficiente el patógeno diana. *B. thuringiensis* y *B. pumilus* presentan un enfoque importante para la producción de compuestos

orgánicos volátiles con inhibiciones del crecimiento de *C. gloeosporioides* de hasta 88,9%, siendo potenciales candidatos para la contribución de un programa efectivo de biofumigación.

Agradecimientos

A la Universidad de Antioquia por el apoyo para la realización de esta investigación, al facilitar el acceso a las bases de datos bibliográficas.

REFERENCIAS

- Asohofrucol y Corpoica. 2013. Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima. Ed. Asohofrucol, 1–112. http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango.pdf
- Ayala, A. V., Almaguer, G., De la Trinidad, N., Caamal, I., y Rendón, R. 2009. Competitividad de la producción de mango (*Mangifera indica* L.) en Michoacán. Revista Chapingo Serie Horticultura. 15(2): 133–140.
- Bautista, P., Calderon, M., Servín, R., Ochoa, N. A., y Ragazzo, J. A. 2013. Action mechanisms of the yeast *Meyerozyma caribbica* for the control of the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides* in mangoes. Biological Control. 65(3): 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.03.010>
- Bautista, P., Calderon, M., Servín, R., Ochoa, N. A., Vázquez, R., y Ragazzo, J. A. 2014. Biocontrol action mechanisms of *Cryptococcus laurentii* on *Colletotrichum gloeosporioides* of mango. Crop Protection. 65: 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.07.019>
- Bautista, S., Ventura, R. I., Correa, Z., y Corona, M. L. 2017. Chitosan: a versatile antimicrobial polysaccharide for fruit and vegetables in postharvest—a review. Revista Chapingo Serie Horticultura. 23(2): 103–121. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>
- Berumen, G., Coronado, L. D., Ochoa, V. A., Chacón, M. A. y Gutiérrez, P. 2015. Efecto del quitosano en la inducción de resistencia contra *Colletotrichum* sp. en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. Investigación y Ciencia. 66: 16 – 21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6137830>
- Bolívar, K., Sanabria, M. E., Rodríguez, D., de Camacaro, M., Ulacio, D., Cumana, L. J., y Crescente, O. 2009. Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo in vitro del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. Revista Científica UDO Agrícola. 9(1): 175–181.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.10.006>
- De Rodríguez, D. J., García, R. R., Castillo, F. D. H., González, C. N. A., Galindo, A. S., Quintanilla, J. A. V., & Zuccolotto, L. E. M. 2011. In vitro antifungal activity of extracts of Mexican Chihuahuan Desert plants against postharvest fruit fungi. Industrial Crops and Products. 34(1): 960–966. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.001>
- Dotor, M., y Cabezas, M. 2014. Mecanismos de Resistencia Sistémica en Plantas. Acta Iguazu, 3, 1–19.
- Dubey, R. K., Kumar, R., Jaya, Chansouria, J. P. N., y Dubey, N. K. 2008. Evaluation of *Amomum subulatum* Roxb oil as a source of botanical fungitoxicant for the protection of mango fruits from fungal rotting. Journal of Food Safety. 28(3): 400–412. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2008.00108.x>
- España, M. D., Arboleda, J. W., Ribeiro, J. A., Abdelnur, P. V., y Guzman, J. D. 2017. Eucalyptus leaf byproduct inhibits the anthracnose-causing fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. Industrial Crops and Products. 108: 793–797. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.002>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Guerrero, V., Blanco, A., Guigón, C., Tamayo, C., Molina, F., Berlanga, D., Carvajal, E., Ávila, G. 2011. Competencia por Nutrientes; Modo de acción de *Candida oleophila* contra *Penicillium expansum* y *Botrytis cinerea*. Revista Mexicana de Fitopatología. 29(2): 90–97.
- Gutiérrez-Alonso, J. G., Gutierrez-Alonso, O., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Zavaleta-Mejía, E., y Delgadillo-Sánchez, F. 2004. Manejo Integrado de la Antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del Mango (*Mangifera indica* L.) durante la Postcosecha. Revista Mexicana de

- Fitopatología. 22(3): 395–402.
- Gutiérrez, P., Bautista, S., Berúmen, G., Ramos, A., y Hernández, A. M. 2017. In vitro response of *Colletotrichum* to chitosan. Effect on incidence and quality on tropical fruit. Enzymatic expression in mango. Acta Agronomica. 66(2): 282–289.
- Hernández, A. N., Bautista, S., Velázquez, M. G., y Hernández, A. 2007. Uso de microorganismos antagonistas en el control de enfermedades postcosecha en frutos. Revista Mexicana de Fitopatología. 25(1): 66–74. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v25n1/v25n1a9.pdf>
- Hernández, L. G., Zulueta, R., Angulo, C., Rueda, E. O., Quiñonez, E. E., y Galicia, R. 2017. Marine yeasts and bacteria as biological control agents against anthracnose on mango. Journal of Phytopathology. 165(11–12): 833–840. <https://doi.org/10.1111/jph.12623>
- Jitareerat, P., Paumchai, S., Kanlayanarat, S., y Sangchote, S. 2007. Effect of chitosan on ripening, enzymatic activity, and disease development in mango (*Mangifera indica*) fruit. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. 35(2): 211–218. <https://doi.org/10.1080/01140670709510187>
- Kamle, M., Kumar, P., Gupta, V. K., Tiwari, A. K., Misra, A. K., y Pandey, B. K. 2013. Biocatalysis and agricultural biotechnology identification and phylogenetic correlation among *Colletotrichum gloeosporioides* pathogen of anthracnose for mango. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2(3): 285–287. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.04.001>
- Karim, M., Jabeen, K., Iqbal, S., y Javaid, A. 2017. Bioefficacy of a common weed *Datura metel* against *Colletotrichum gloeosporioides*. Planta Daninha, 35: 1–7. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100027>
- Karunanayake, L. C., Adikaram, N., Kumarihamy, B. M. M., Bandara, B. M. R., y Abayasekara, C. 2011. Role of antifungal gallotannins, resorcinols and chitinases in the constitutive defence of immature mango (*Mangifera indica* L.) against *Colletotrichum gloeosporioides*. Journal of Phytopathology. 159(10): 657–664. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2011.01818.x>
- Kim, Y., Brecht, J. K., y Talcott, S. T. (2007). Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. Food Chemistry, 105(4), 1327–1334. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.050>
- 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. NOVA-Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. 9: 177–187. http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA16_ARTREVIS1_BACILLUS.pdf
- Lima, P. D., de Oliveira, K. Á. R., Vieira, W. A. dos S., Câmara, M. P. S., y de Souza, E. L. 2018. Control of anthracnose caused by *Colletotrichum* species in guava, mango and papaya using synergistic combinations of chitosan and *Cymbopogon citratus* (D.C. ex Nees) Stapf. essential oil. International Journal of Food Microbiology. 266: 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.11.018>
- Mashigo, M., Combrinck, S., Regnier, T., Du Plooy, W., Augustyn, W., y Mokgalaka, N. 2015. Chemical variations, trichome structure and antifungal activities of essential oils of *Helichrysum splendidum* from South Africa. South African Journal of Botany. 96: 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.10.006>
- Mattiuz, B. H., Ducamp-Collin, M. N., Mattiuz, C. F. M., Vigneault, C., Marques, K. M., Sagoua, W., y Montet, D. 2015. Effect of propolis on postharvest control of anthracnose and quality parameters of “Kent” mango. Scientia Horticulturae. 184: 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.035>
- Mejía, L. C., Rojas, E. I., Maynard, Z., Van Bael, S., Arnold, A. E., Hebban, P., Samuels, G., Robbins, N., Herre, E. A. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. Biological Control. 46(1): 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.01.012>
- Nawab, A., Alam, F., y Hasnain, A. 2017. Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf- life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. International Journal of Biological Macromolecules. 103: 581–586. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.057>
- Nicholls, C. I. 2008. Control Biológico de insectos: un enfoque agroecológico. Editorial Universidad de Antioquia, Colombia.
- Núñez, V. (2012). Bacterias antagonistas con potencial para el control biológico postcosecha de la antracnosis en papaya. Tesis de maestría.

- Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Michoacán. México. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12238/N%c3%9a%c3%91EZ%20OREGEL%20VERONICA%20-%20B081003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ong, M. K., y Ali, A. 2015. Antifungal action of ozone against *Colletotrichum gloeosporioides* and control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*. 100: 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.023>
- Ortega, B. O., Ortega, F. N., Lara, J., De La Rosa, S. C., Martínez, A., y Montero, J. 2009. Antagonism of *Bacillus* spp. isolated from marine biofilms against terrestrial phytopathogenic fungi. *Marine Biotechnology*. 11(3): 375–383. <https://doi.org/10.1007/s10126-008-9152-3>
- Osorio, J. A., Martínez, E. P., y Hío, J. C. 2012. Screening of microbial culture filtrates, plant extracts and fungicides for control of mango anthracnose. *Agronomía Colombiana*. 20: 1–17. <https://doi.org/10.5565/rev/athenea.1697>
- Parra, L. 2008. Relación entre infecciones quiescentes de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) y los diferentes estados fenológicos del fruto de mango (*Mangifera indica* L) variedad Hilacha. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Básicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencia/tesis120.pdf>
- Pérez, A., Vidal-Aguilar, Y., y Mulkay-Vitón, T. 2016. Contenido de fenoles totales en frutos de mango 'Super Haden' dañados por antracnosis y tratados en poscosecha. *Cultivos Tropicales*. 37(1): 71–77. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193245041010>
- Perumal, A. B., Sellamuthu, P. S., Nambiar, R. B., y Sadiku, E. R. 2016. Antifungal activity of five different essential oils in vapour phase for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* in vitro and on mango. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(2), 411–418. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12991>
- Rajaofera, M. J. N., Jin, P. F., Fan, Y. M., Sun, Q. Q., Huang, W. K., Wang, W. B., Shen, H. Y., Zhang, S., Lin, C. H., Liu, W. B., Zheng, F. C., Miao, W. G. 2018. Antifungal activity of the bioactive substance from *Bacillus atrophaeus* strain HAB-5 and its toxicity assessment on *Danio rerio*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 147: 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.06.006>
- Regnier, T., du Plooy, W., Combrinck, S., y Botha, B. 2008. Fungitoxicity of *Lippia scaberrima* essential oil and selected terpenoid components on two mango postharvest spoilage pathogens. *Postharvest Biology and Technology*. 48(2): 254–258. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.011>
- Ríos, V. M. 2018. Antracnosis y otros impedimentos que afectan el mango mexicano. *Hortalizas*. <http://www.hortalizas.com/cultivos/antracnosis-y-otros-impedimentos-que-afectan-el-mango-mexicano/>
- Rivas, B. A., y Carrizales, L. 2007. Control químico de la antracnosis del mango (*Mangifera indica* L.) en pre y postcosecha en el municipio Cedeño, Estado Monagas, Venezuela. *Bioagro*. 19(1): 19–25.
- Rungjindamai, N. 2016. Isolation and evaluation of biocontrol agents in controlling anthracnose disease of mango in Thailand. *Journal of Plant Protection Research*. 56(3): 306–311. <https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0034>
- Saleem Dar, M., Oak, P., Chidley, H., Deshpande, A., Giri, A., y Gupta, V. 2016. Nutrient and Flavor Content of Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars. In: Simmonds, M., and Preedy, V. (eds.). *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. Academic Press, UK. pp. 445–467. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00019-2>
- Sefu, G., Satheesh, N., y Berecha, G. 2015. Antifungal activity of ginger and cinnamon leaf essential oils on mango anthracnose disease causing fungi (*C. gloeosporioides*). *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. 7(2): 26–34.
- Thin, D. C., y Kunasakdakul, K. 2013. Inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and Control of Postharvest Anthracnose Disease on Mango Fruit Using Propionic Acid Combined with Bee-Carnauba Wax Emulsion. *Journal of Agricultural Science*. 5(12): 110–116. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n12p110>
- Urrútia, G., y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*. 135(11): 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Yenjit, P., Issarakraisila, M., Intana, W.,

- Chantrapromma, K. 2010. Fungicidal activity of compounds extracted from the pericarp of *Areca catechu* against *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro and in mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 55(2): 129–132. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.003>
- Zhang, Z., Yang, D., Yang, B., Gao, Z., Li, M., Jiang, Y., y Hu, M. 2013. β -Aminobutyric acid induces resistance of mango fruit to postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and enhances activity of fruit defense mechanisms. *Scientia Horticulturae*. 160: 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.023>
- Zheng, M., Shi, J., Shi, J., Wang, Q., y Li, Y. 2013. Antimicrobial effects of volatiles produced by two antagonistic *Bacillus* strains on the anthracnose pathogen in postharvest mangos. *Biological Control*. 65(2): 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.02.004>
- Zhu, X., Wang, Q., Cao, J., Jiang, W. 2008. Quality of Mango (*Mangifera indica*). *Journal of Food Processing and Preservation*. 32: 770–784.