

## Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp.\*

### Alternatives for the control of *Colletotrichum* spp.

Nadia Landero-Valenzuela<sup>1</sup>, Francisco Marcelo Lara-Viveros<sup>1§</sup>, Petra Andrade-Hoyos<sup>1</sup>, Luis Alfonso Aguilar-Pérez<sup>2</sup> y Graciano Javier Aguado Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Postgrado- Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Domicilio conocido Tepatepec, Hidalgo. C. P. 42660. (nlanderova@conacyt.mx, fmlaravi@conacyt.mx, pandrade@upfim.edu.mx, gaguado@upfim.edu.mx). <sup>2</sup>Postgrado en Fitopatología-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, km 36.5, Estado de México. C. P. 56230. (aguilar.luis@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: fmlara@upfim.edu.mx.

#### Resumen

*Colletotrichum gloeosporioides* es un patógeno que causa una enfermedad conocida como antracnosis, la cual se presenta en plantas y frutos. El fruto desde su formación y desarrollo en la planta, y hasta la poscosecha sufre daños por este patógeno, ocasionando pérdidas hasta de 100%, dependiendo de las condiciones climáticas que prevalezcan en una región. Los fungicidas en precosecha o poscosecha constituyen la principal forma de reducir las pérdidas por esta enfermedad. Sin embargo, el uso indiscriminado de éstos ha tenido como consecuencia la resistencia de los microorganismos patógenos. Por otro lado, su uso está ampliamente restringido debido a la preocupación por los residuos tóxicos y los riesgos ocasionados a la salud. Por ello, existe la necesidad de manejar la enfermedad con alternativas amigables con el medio ambiente, entre ellas los extractos de plantas, los microorganismos como agentes de control biológico, tratamientos hidrotérmicos, manipulación genética y resistencia inducida. El objetivo del presente trabajo fue analizar las diferentes alternativas de control aplicadas al manejo de *Colletotrichum* spp.

**Palabras clave:** *Trichoderma*, antracnosis, control biológico, hospedantes, poscosecha.

#### Abstract

*Colletotrichum gloeosporioides* is a pathogen that causes a disease known as anthracnose, which occurs in plants and fruits. The fruit from their training and development on the ground, and even post-harvest is damaged by this pathogen, causing losses of up to 100%, depending on weather conditions prevailing in a region. Fungicides preharvest or postharvest are the main way to reduce losses from this disease. However, indiscriminate use of these has resulted in resistance of pathogenic microorganisms. On the other hand, its use is largely restricted due to concerns about toxic waste and the risks posed to health. Therefore, there is a need to manage the disease friendly alternatives with the environment, including plant extracts, microorganisms as biological control agents, hydrothermal treatments, genetic manipulation and induced resistance. The aim of this study was to analyze the different alternatives applied to the management control of *Colletotrichum* spp.

**Keywords:** *Trichoderma*, anthracnose, biological control, hosts, postharvest.

## Introducción

*Colletotrichum* es un hongo de distribución cosmopolita y con predominancia en las regiones tropicales y subtropicales (Xiao *et al.*, 2004). Comprende principalmente patógenos de plantas y frutos, incluye a más de 100 especies responsables de causar la antracnosis, por tal motivo es esencial identificar las especies para mejorar el control de la enfermedad (Crouch *et al.*, 2014). *Colletotrichum gloeosporioides* es considerada como la especie más desafiante de resolver, comprende la gama de huéspedes más amplia de todas las especies de *Colletotrichum* (Du *et al.* 2005; Prabhakaran, 2010).

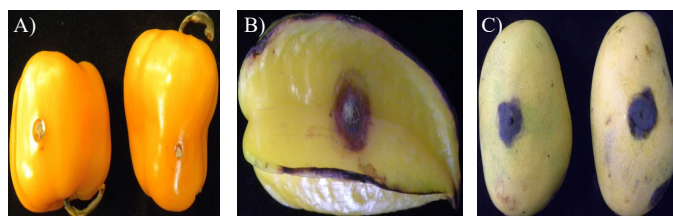
En la Figura 1A podemos observar los síntomas en chile pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. *annuum*) y en la Figura 1B y C se aprecian los frutos de carambola (*Averrhoa carambola* L.) y mango (*Mangifera indica* L.) con los síntomas típicos de la enfermedad; la Figura 2A muestra los síntomas de antracnosis en el fruto de papaya (*Carica papaya* L.), otras especies afectadas son banano (*Musa paradisiaca* L.), café (*Coffea arabica* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), gandul (*Cajanus cajan* L. Mill sp.), fresa (*Fragaria vesca* L.), manzana (*Malus domestica* Borkh.), almendra (*Prunus dulcis* Mill.) y chirimoya (*Annona cherimola* Mill.); en ornamentales como las violetas (*Viola odorata* L.), orquídeas (*orchidaceae*) de diferentes géneros y especies, lluvia de oro (*Cassia fistula* L.); otras plantas como soja (*Glycine max* (L.) Merr.), menta (*Menta piperita* L.), lenteja (*Lens culinaris* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Freeman *et al.*, 2001; Freeman, 2008); ésta misma especie puede causar elevadas pérdidas de los frutos en poscosecha (Gomes *et al.*, 2013).

Actualmente las alternativas de control para *Colletotrichum* spp. son variadas debido a que la estrategia más común, los plaguicidas, han causado resistencia en los organismos patógenos. Entre los métodos de control del patógeno en pre cosecha y poscosecha se encuentran el uso de aire caliente, tratamientos hidrotérmicos, atmósferas modificadas (Karabulut y Baykal, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2004; Ragazzo *et al.*, 2015), luz ultravioleta, ozono (Cia *et al.*, 2009), extractos de plantas (Bautista-Baños *et al.*, 2003) y microorganismos agentes de control biológico que actúan como antagonismo contra diversos patógenos como *Rodhotorula minuta*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp., por mencionar algunos (Janisiewicz y Korsten, 2002; Spadaro y Gullino, 2004; Pérez, 2006; Vos *et al.*, 2014).

## Introduction

*Colletotrichum* is a fungus is a cosmopolitan distribution and predominantly in tropical and subtropical regions (Xiao *et al.*, 2004). Mainly it comprises pathogens of plants and fruits, including more than 100 species responsible for causing anthracnose, for this reason it is essential to identify the species to improve control of the disease (Crouch *et al.*, 2014). *Colletotrichum gloeosporioides* is considered the most challenging kind of resolve, includes the widest range of guests of all species of *Colletotrichum* (Du *et al.*, 2005; Prabhakaran, 2010).

In Figure 1A we see the symptoms in green pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) and Figure 1B and C are appreciated fruit of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) and mango (*Mangifera indica* L.) with typical symptoms of the disease; Figure 2A shows the symptoms of anthracnose in the fruit of papaya (*Carica papaya* L.), other affected species are banana (*Musa paradisiaca* L.), coffee (*Coffea arabica* L.), avocado (*Persea americana* Mill.), pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill sp.), strawberry (*Fragaria vesca* L.), apple (*Malus domestica* Borkh.), almond (*Prunus dulcis* Mill.) and cherimoya (*Annona cherimola* Mill.); ornamentals such as violets (*Viola odorata* L.), orchids (*Orchidaceae*) from different genera and species, golden shower (*Cassia fistula* L.); other plants such as soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), peppermint (*Menta piperita* L.), lentil (*Lens culinaris* L.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) (Freeman *et al.*, 2001; Freeman, 2008); this species can cause high losses of fruits in postharvest (Gomes *et al.*, 2013).



**Figura. 1.** Síntoma de antracnosis causado por *Colletotrichum gloeosporioides*, inoculado en A) chile morrón *Capsicum annuum* var. *annuum*; B) carambola (*Averrhoa carambola* L.); y C) mango (*Mangifera indica* L.).

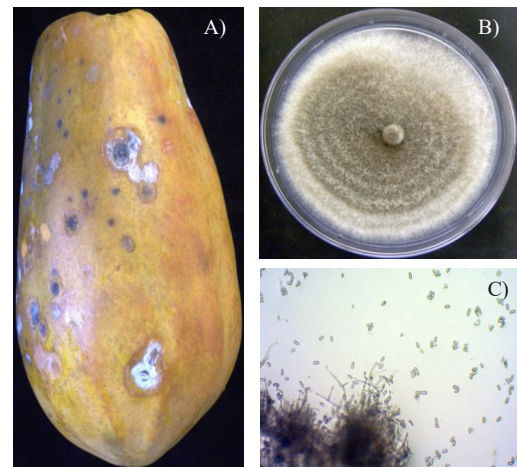
**Figure. 1.** Symptom anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* inoculated in A) green pepper *Capsicum annuum* var. *annuum*; B) star fruit (*Averrhoa carambola* L.); and C) mango (*Mangifera indica* L.).

Bioracionales en contra de *Colletotrichum gloeosporioides*. En la actualidad, los productos naturales gozan de amplia aceptación y reemplazan cada vez más a los productos sintéticos o materiales generados artificialmente. Como respuesta a esta tendencia se ha producido un creciente interés en la investigación de la posible utilización de aceites esenciales, extractos de plantas, entre otros. Por lo anterior, una alternativa al uso de moléculas químicas sintéticas para el control de organismos dañinos en la agricultura es la aplicación de bioracionales, los cuales son definidos como sustancias producidas por microorganismos, plantas o minerales, que se descomponen en pocas horas después de aplicarlos y son específicos para el organismo que se desea controlar (O’Farril, 2008).

Respecto al uso de plantas con propiedades antimicrobiales, Lara *et al.* (2014) encontraron que los glucosinolatos aislados de floretes de brócoli a concentraciones de 1.54 y 0.92  $\mu\text{g}/\mu\text{L}^{-1}$  inhibieron en su totalidad la germinación de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides* aislado de mango (*Mangifera indica* L.). Extracto de raíces de *Gliricida sepium* contra *C. gloeosporioides* fue probado reduciendo la severidad de la antracnosis 94% sobre frutos de papaya Hawaiana en poscosecha, mientras que el testigo químico la redujo 84% (Loaiza y Rivera, 2000). Otro extracto que se ha utilizado para control de *C. gloeosporioides* en papaya en poscosecha es de semilla de este mismo fruto, solo y mezclado con quitosano, inhibiendo este último el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* a concentraciones de 2.5 y 3%. Los resultados *in vivo* demostraron que a una concentración de 1.5% de quitosano, la severidad fue de 1% (Bautista-Baños *et al.*, 2003).

Lo anterior demuestra que el quitosano tiene potencial fúngico en contra de diferentes patógenos que pertenecen al reino fungi, lo cual se debe a que posee carga policationica, mientras que las paredes de los hongos poseen carga negativa desactivando la germinación de las esporas de *Botryosphaeria parva* y *C. gloeosporioides* (Everett *et al.*, 2005).

Otro de los bioracionales a utilizar son los aceites esenciales de diversas especies de plantas con propiedades antimicrobiales, estos afectan el desarrollo de hongos tanto *in vitro* como *in vivo* de productos hortícolas (Molina *et al.*, 2010). Una de estas especies es *Thyme vulgaris* L., cuyo aceite esencial se ha encontrado que es antibacteriano y antifúngico, ensayado sobre varios microorganismos patógenos (Hammer *et al.*, 1999; Vanneste y Boyd, 2002; Rassooli y Mirmostafa, 2003; Yang y Clausen, 2007).



**Figura 2.** *Colletotrichum gloeosporioides* A) Fruto de papaya con antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides*; B) *Colletotrichum gloeosporioides* creciendo en medio de cultivo PDA; C) Esporas de *Colletotrichum gloeosporioides*.

**Figure 2.** *Colletotrichum gloeosporioides* A) Papaya fruit with anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*; B) *Colletotrichum gloeosporioides* Growing PDA culture medium; C) spores *Colletotrichum gloeosporioides*.

Currently control alternatives for *Colletotrichum* spp. they are varied because the most common strategy, pesticides, have caused resistance in pathogenic organisms. Methods of control of the pathogen in preharvest and postharvest are using hot air, hydrothermal treatments, modified atmospheres (Karabulut and Baykal, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2004; Ragazzo *et al.*, 2015), ultraviolet light, ozone (Cia *et al.*, 2009), plant extracts (Bautista-Baños *et al.*, 2003) and micro-biological control agents that act as antagonism against various pathogens such as *Rodhotorula minuta*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp., to name a few (Janisiewics and Korsten, 2002; Spadaro and Gullino, 2004; Pérez, 2006; Vos *et al.*, 2014).

Biorational against *Colletotrichum gloeosporioides*. At present, natural products are widely accepted and increasingly replacing synthetic products or materials generated artificially. In response to this trend it has been a growing interest in investigating the possible use of essential oils, plant extracts and others. Therefore, an alternative to the use of synthetic chemical molecules to control harmful organisms in agriculture is the application of biorationals, which are defined as produced by microorganisms, plants

Cuando se ensayó la efectividad biológica del aceite en contra de *C. gloeosporioides* aislado de papaya en poscosecha tuvo un efecto fungicida, el desarrollo del hongo se vio reducido a medida que las concentraciones aumentaron (Molina *et al.*, 2010). De manera similar Landero *et al.* (2013) encontraron que el aceite de canela tuvo un mejor efecto en la inhibición micelial cuando las concentraciones aumentaron; sin embargo, estas fueron bajas (0.0015, 0.0025 y 0.005%) comparadas con el extracto de ajo que inhibió 100% del desarrollo del hongo cuando utilizó 10% de concentración del mismo. Lo anterior indica que debido a la efectividad de los aceites utilizados a bajas concentraciones podrían considerarse con mayor potencial para uso promisorio a nivel comercial.

Control biológico de *Colletotrichum gloeosporioides*. El control biológico de antracnosis ha sido reportado en manzanas (Janisiewicz *et al.*, 2003), papaya (Gamagae *et al.*, 2004), aguacate (Korsten *et al.*, 1995) y mango (Carillo *et al.*, 2005). La mayor parte de los experimentos de control biológico en enfermedades poscosecha se han realizado aplicando los antagonistas en condiciones controladas de humedad y temperatura. Pocos trabajos se han realizado con aplicación de microorganismos en condiciones de campo, en donde la efectividad de los antagonistas es afectada por otros factores, como cambios de temperatura, humedad, luz ultravioleta e interacción con otros microorganismos. Paradójicamente uno de los mayores obstáculos para el desarrollo del control biológico en poscosecha es su relativa inhabilidad para controlar infecciones establecidas en precosecha, como son las infecciones latentes (Spadaro y Gullino, 2004). Sin embargo, Ippolito y Nigro (2000) afirman que la aplicación en campo de los agentes de control biológico puede propiciar la colonización de la superficie del fruto y prevenir el establecimiento de infecciones latentes en los frutos de la huerta productora.

En antracnosis de mango, Juárez (2001) reportó una extensiva búsqueda de microorganismos antagonistas al agente causal de esta enfermedad, donde se aislaron 120 cepas (5 levaduras y 115 bacterias) de la filósfera de mango, de las cuales dos cepas, una bacteria (*Bacillus subtilis*) y una levadura (*Rodhotorula minuta*) fueron las que presentaron mayor actividad antagonista en ensayos *in vitro* contra *C. gloeosporioides*.

Por su parte, Baños-Guevara *et al.* (2003) empleó bacterias antagonistas y extractos de plantas con propiedades fungitóxicas, para evaluar los efectos de la antracnosis sobre algunas características físicas, químicas y fisiológicas de frutos de papaya Maradol roja. Los resultados mostraron que

or minerals, which decompose within a few hours after application and they are specific for the organism to be controlled (O'Farril, 2008).

Regarding the use of plants with antimicrobial properties, Lara *et al.* (2014) found that glucosinolates broccoli florets isolated at concentrations of 1.54 and 0.92  $\mu\text{g}/\mu\text{L}^{-1}$  fully inhibited spore germination of *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from mango (*Mangifera indica* L.). The *Gliricida sepium* root extract against *C. gloeosporioides* was tested by reducing the severity of anthracnose on fruits 94% in Hawaiian papaya in postharvest chemical control while the reduced 84% (Loaiza and Rivera, 2000). Another extract has been used to control in papaya *C. gloeosporioides* postharvest seed it is the same fruit, alone and mixed with chitosan, the latter inhibiting mycelial growth of *C. gloeosporioides* at concentrations of 2.5 and 3%. The *in vivo* results showed that at a concentration of 1.5% chitosan, the severity was 1% (Bautista-Baños *et al.*, 2003).

This shows that the chitosan has fungal potential against different pathogens belonging to the fungi kingdom, which is due to having polycationic load, while the walls of fungi are negatively charged deactivating germinating spores *Botryosphaeria parva* and *C. gloeosporioides* (Everett *et al.*, 2005).

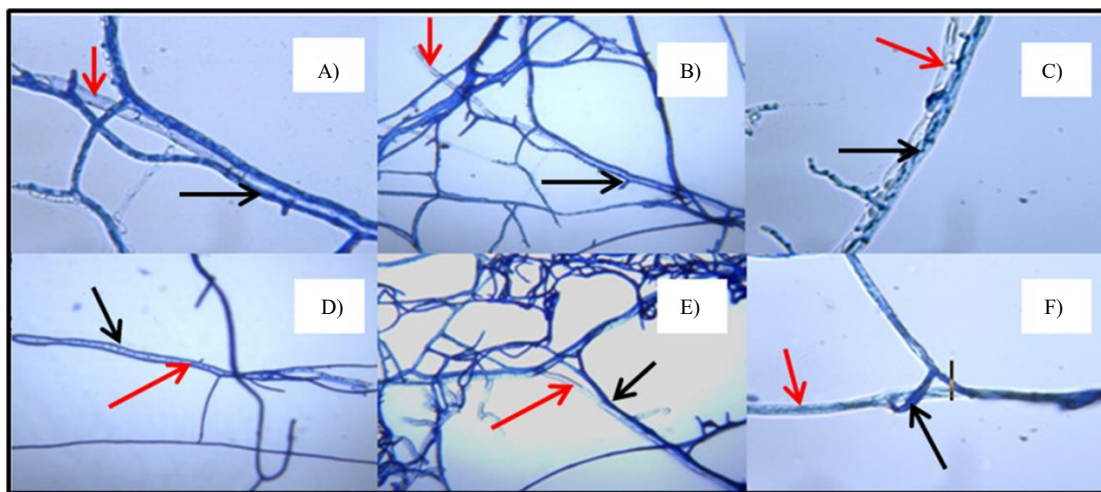
Another biorational to use are plant extracts and essential oils of various plant species with antimicrobial properties, they affect the development of fungi both *in vitro* and *in vivo* of horticultural products (Molina *et al.*, 2010). One of these species is *Thyme vulgaris* L., which has been found essential oil antibacterial and antifungal is, tested on several pathogenic microorganisms (Hammer *et al.*, 1999; Vanneste and Boyd, 2002; Rassooli and Mirmostafa, 2003; Yang and Clausen, 2007).

When the biological effectiveness of the oil was tested against *C. gloeosporioides* isolated from papaya postharvest had a fungicidal effect, the development of the fungus was reduced as concentrations increased (Molina *et al.*, 2010). Similarly Landero *et al.* (2013) found that cinnamon oil had a better effect on mycelial inhibition when increased concentrations; however, these were low (0.0015, 0.0025 and 0.005%) compared with garlic extract that inhibited 100% of fungal growth when used 10% concentration. This indicates that due to the effectiveness of the oils used at low concentrations could be considered more promising potential for use commercially.

dos cepas de *B. firmus* y cuatro de *Pseudomonas fluorescens* redujeron *in vitro* el crecimiento de *C. gloeosporioides*. Algunos ejemplos de microorganismos antagonistas utilizados exitosamente para controlar enfermedades en poscosecha son: *B. licheniformis* contra *C. gloeosporioides* en mango (Govender *et al.*, 2005).

*Trichoderma* spp. (Figura 3 A, B, C, D, E y F) es considerado el antagonista más estudiado para el control de fitopatógenos. Infante *et al.* (2009) estudiaron y realizaron un resumen sobre los modos de acción. En la integración de los resultados mencionaron que los mecanismos de acción que permiten el control de patógenos a *Trichoderma* spp., se encuentra la competencia por el sustrato, parasitismo (Figura 3 A, B, C, D y F), antibiosis, desactivación de enzimas del patógeno, penetración (Figura 3F) y resistencia inducida, principalmente.

Biological control of *Colletotrichum gloeosporioides*. The biological control of anthracnose has been reported in apples (Janisiewicz *et al.*, 2003), papaya (Gamagae *et al.*, 2004), avocado (Korsten *et al.*, 1995) and handle (Carillo *et al.*, 2005). Most of the experiments postharvest biocontrol diseases were made by using the antagonists in controlled conditions of humidity and temperature. Few studies has been done with application of microorganisms under field conditions, where the effectiveness of the antagonists is affected by other factors such as changes in temperature, humidity, ultraviolet light and interaction with other microorganisms. Paradoxically, one of the biggest obstacles to the development of biological control in postharvest is its relative inability to control preharvest established infections, such as latent infections (Spadaro and Gullino, 2004). However, Ippolito and Nigro (2000) state that the application in the field of biological control



**Figura 3.** *Colletotrichum gloeosporioides*, hifa interactuando con A) *Trichoderma viride*; B) *Trichoderma longibrachiatum*; C) *Trichoderma asperellum* 1; D) *Trichoderma asperellum* 2; E) y F) *Trichoderma harzianum* parasitando, lisando o deformando el micelio de *Colletotrichum gloeosporioides*. Las flechas rojas indican las hifas de *Colletotrichum*, las flechas negras indican las hifas de *Trichoderma*.

**Figure 3.** *Colletotrichum gloeosporioides*, hyphae interacting with A) *Trichoderma viride*; B) *Trichoderma longibrachiatum*; C) *Trichoderma asperellum* 1; D) *Trichoderma asperellum* 2; E) and F) *Trichoderma harzianum* parasitizing, lysing or deforming the mycelium of *Colletotrichum gloeosporioides*. Red arrows indicate the hyphae of *Colletotrichum*, black arrows indicate the hyphae of *Trichoderma*.

Control de *Colletotrichum* spp. a través de la manipulación molecular. La manipulación de genes a través de técnicas de ingeniería genética ha permitido disminuir la síntesis de etileno, considerada la hormona de la madurez en especies vegetales, *Colletotrichum* spp., se desarrolla en el fruto precisamente cuando este inicia su maduración. Con la finalidad de disminuir la síntesis de etileno se han llevado a cabo trabajos donde se desarrollaron plantas a las cuales se les ha silenciado los genes ACC oxidasa mostrando

agents can lead to the colonization of the fruit surface and prevent the establishment of latent infections in producing the fruits of the orchard.

In anthracnose of mango, Juárez (2001) reported an extensive search of antagonistic microorganisms to the causative agent of this disease, where 120 strains were isolated (5 yeast and 115 bacteria) of the phyllosphere mango, of which two strains, a bacterium (*Bacillus subtilis*)

diversas alteraciones (Wi y Park, 2002). Frutos en poscosecha también han sido sometidos a este tipo de técnicas, retrasando la madurez en el caso del jitomate, además de detener la descomposición debida a la presencia de *C. gloeosporioides*, cuya infección estuvo detenida hasta la aplicación de etileno externo (Cooper *et al.*, 1998). Otra especie a la cual se le han silenciado exitosamente un gran número de genes es *Nicotiana benthamiana* (Robertson, 2004) que también es susceptible a infección por *Colletotrichum orbicularie* (Shen *et al.*, 2001).

Las principales fuentes de resistencia a antracnosis han sido identificadas en *Capsicum baccatum* L. y *C. chinense* Jacq. Por el Centro de Desarrollo e Investigación Asiática de Vegetales en 1999, y los investigadores han usado estas fuentes para estudiar la herencia de la resistencia a antracnosis (Pakdeevaporn *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010). Análisis genéticos de poblaciones segregantes mostraron que los patrones de herencia de la resistencia varían dependiendo de la especie y aislamiento de *Colletotrichum*, la fuente de la resistencia, y también la etapa de madurez del fruto. Considerando a *Colletotrichum acutatum*, la resistencia provino de *C. chinense* 'PBC932' en la línea '0038-9155'. El patógeno fue controlado por dos genes dominantes complementarios en frutos verdes, pero dos genes recesivos en frutos rojos (Lin *et al.*, 2007).

*Colletotrichum capsici* ha sido otra de las especies sobre las cuales se ha trabajado para su control, debido a que puede causar pérdidas poscosechas hasta de 30% (Lakshmesha *et al.* (2002). Por ello, Lakshmesha *et al.* (2007) redujo la actividad de celulasa (42.86%) y pectinasa (40%) de este patógeno, exponiendo durante tres días el micelio maduro bajo rayos ultravioleta (312 nm de longitud de onda a una distancia de 12 pulgadas) durante diferentes tiempo, encontrando que a 45 min de exposición *C. capsici* fue menos virulento. La reducción en la actividad de las enzimas resultó en 3.5 días de retraso en la manifestación de la antracnosis. Para el caso específico de chile maduro en interacción con *C. gloeosporioides* se encontró que el gen esterasa de chile (PepEST) es altamente expresable durante interacciones incompatibles, así como que la expresión del gen es específica para el fruto en respuesta a la inoculación del patógeno, además puede ser regulada por heridos y tratamientos con ácido jasmónico durante la maduración. Esta expresión de genes PepEST no se presenta en frutos sin madurar (Ko *et al.*, 2005).

Inductores de resistencia a *Colletotrichum* spp. Actualmente la inducción de resistencia a patógenos en frutos cosechados usando elicitores, físicos, químicos y biológicos está pasando

and a yeast (*Rodhotorula minuta*) were those that showed higher antagonistic activity *in vitro* assays against *C. gloeosporioides*.

Meanwhile, Baños-Guevara *et al.* (2003) used antagonistic bacteria and plant extracts with fungitoxic properties, to evaluate the effects of anthracnose on some physical, chemical and physiological characteristics of papaya fruit red Maradol. The results showed that two strains *B. firmus* and four *Pseudomonas fluorescens* reduced growth *in vitro* of *C. gloeosporioides*. Examples of antagonistic microorganisms used successfully to control postharvest diseases are: *B. licheniformis* against *C. gloeosporioides* in mango (Govender *et al.*, 2005).

*Trichoderma* spp. (Figure 3 A, B, C, D, E and F) is considered the most studied antagonist for the control of phytopathogenic. Infante *et al.* (2009) studied and made a summary of the modes of action. The integration of the results mentioned that the mechanisms of action that allow control of pathogens *Trichoderma* spp., competition is the substrate, parasitism (Figure 3 A, B, C, D and F), antibiotes, disabling enzymes pathogen penetration (Figure 3F) and induced resistance, mainly.

*Colletotrichum* spp. control through molecular manipulation. The manipulation of genes by genetic engineering techniques has reduced ethylene synthesis, hormone considered maturity in plant species, *Colletotrichum* spp. Develops in the fruit precisely when it begins its maturation. In order to decrease the synthesis of ethylene they were carried out work where plants were developed which have been silenced them the ACC oxidase genes showing various alterations (Wi and Park, 2002). Fruits in postharvest also have been subjected to these techniques, delaying maturity in the case of tomatoes, in addition to stop the decomposition due to the presence of *C. gloeosporioides*, whose infection was detained until the application of external ethylene (Cooper *et al.*, 1998). Another species to which it successfully silenced many genes is *Nicotiana benthamiana* (Robertson, 2004) which is also susceptible to infection by *Colletotrichum orbicularie* (Shen *et al.*, 2001).

The main sources of resistance to anthracnose have been identified in *Capsicum baccatum* L. and *C. chinense* Jacq. By the Centre for Development and Asian Vegetable Research in 1999, and researchers have used these sources to study the inheritance of resistance to anthracnose (Pakdeevaporn *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010). Genetic analysis

a ser un enfoque prometedor para controlar enfermedades postcosecha como una alternativa a los fungicidas (Terry y Joyce, 2004). El ácido  $\beta$ -aminobutírico no proteico (BABA), un raro compuesto encontrado en la naturaleza, se ha mostrado que induce resistencia en contra de un amplio rango de organismos patógenos, incluyendo hongos, virus, bacterias y nematodos en plantas (Zimmerli *et al.*, 2001; Cohen, 2002; Van der Ent *et al.*, 2009; Quaglia *et al.*, 2011). Otros inductores que han sido probados en contra de *C. gloeosporioides* son ácido salicílico, ácido 2,6-dicloroisocotínico, ácido benzo-1,2,3-tiadiazole-7-carbotioico S metil estery ácido jasmónico, encontrándose que ácido salicílico a una concentración de 1 mM sobre frutos inmaduros de chile no se presentaron síntomas de la enfermedad, al igual que en frutos maduros sin tratar (Lee *et al.*, 2009) etapa en la cual la resistencia a fitopatógenos incrementa (Oh *et al.*, 1999).

## Conclusiones

La principal forma de control de *Colletotrichum* spp., es a través del uso de productos químicos sintéticos. La resistencia a los fungicidas y la presión regulatoria respecto a residuos de pesticidas y la preocupación por la salud humana están en aumento. Los productos biorracionales como son los extractos vegetales son productos naturales que han aumentado su importancia y aplicación en las últimas tres décadas, no como una moda, sino por el conocimiento de sus propiedades químicas, necesarias para defenderse eficientemente de microorganismos e insectos, propiedades que el hombre ha aprovechado para su beneficio, sin verse afectado negativamente el ambiente.

Otra de las alternativas son los biofungicidas, ampliamente estudiados, han demostrado ser compatibles con otros productos, así como operar a través de una amplia variedad de mecanismos. En lo que respecta a la compatibilidad de microorganismos benéficos con otros productos es limitada, así tenemos para el caso de hongos biofungicidas que solo toleran la mezcla con ciertos fungicidas químicos sintéticos, es necesario que el productor conozca los diferentes grupos químicos a los que pertenecen los fungicidas y poder hacer uso eficaz y eficiente de los biofungicidas. Los inductores de defensa de la planta han demostrado ser eficaces en la supresión de *Colletotrichum* spp., tanto por sí solos como en combinación con otros productos.

of segregating populations showed that the patterns of inheritance of resistance vary depending on the species and isolation of *Colletotrichum*, the source of resistance, and also the stage of maturity of the fruit. Considering *Colletotrichum acutatum*, the resistance came from *C. chinense* 'PBC932' in línea '0038-9155'. The pathogen was controlled by two complementary dominant genes in green fruits, but two recessive genes in red fruits (Lin *et al.*, 2007).

*Colletotrichum capsici* was another species on which has worked to control it, because it can cause postharvest losses up to 30% (Lakshmesha *et al.* (2002). Therefore, Lakshmesha *et al.* (2007) reduced cellulase activity (42.86%) and pectinase (40%) of this pathogen, exposing for three days the mature mycelia under ultraviolet (312 nm wavelength at a distance of 12 inches) during different time, finding that 45 min *C. capsici* exposure was less virulent. the reduction in the activity of enzymes resulted in 3.5 days late in the manifestation of anthracnose. for the specific case of mature chili interaction with *C. gloeosporioides* was found that the esterase gene chile (PepEST) is highly expressible during incompatible interactions and the gene expression is specific to the fruit in response to pathogen inoculation also can be regulated by injuries and treatment with jasmonic acid during ripening. This expression of genes PepEST not present in unripe fruits (Ko *et al.*, 2005).

Inducers of resistance to *Colletotrichum* spp. Currently the induction of resistance to pathogens in fruits harvested using elicitors, physical, chemical and biological is becoming a promising approach to control postharvest diseases as an alternative to fungicides (Terry and Joyce, 2004). The non-proteinaceous  $\beta$ -aminobutyric acid (BABA), a rare compound found in nature, has been shown to induce resistance against a wide range of pathogenic organisms, including fungi, viruses, bacteria and nematodes in plants (Zimmerli *et al.*, 2001; Cohen, 2002; Van der Ent *et al.*, 2009; Quaglia *et al.*, 2011). Other inducers that have been tested against *C. gloeosporioides* are salicylic acid, 2,6-dichloroisocotínico acid, benzo-1,2,3-tiadiazole-7-carbothioic acid S methyl ester and jasmonic acid, salicylic acid was found that a concentration of 1 mM on immature fruits of pepper no disease symptoms presented, as in mature fruits untreated (Lee *et al.*, 2009) stage in which the resistance to phytopathogenic increases (Oh *et al.*, 1999).

La manipulación genética constituye una de las alternativas más viables en la actualidad; sin embargo, es una estrategia cara que requiere de mayor conocimiento para considerarla segura, además, la obtención de un producto manipulado puede tardar años en lograrse, lo cual implica gasto de diversos recursos.

Cabe destacar que la necesidad de controlar las enfermedades poscosecha es lo que ha permitido desarrollar estrategias que contribuyan al éxito de la agricultura sustentable. La integración de diversas actividades tiene el objetivo de disminuir la dependencia por el control químico. Además, la integración de éstas actividades tiene la finalidad de impulsar un sistema de producción modelo, que beneficie al productor y al mismo tiempo permita al consumidor contar con un producto que satisfaga los requerimientos de calidad, sin impactar de forma negativa al ambiente.

## Literatura citada

- Bautista-Baños, S.; Hernández-López, M.; Bosquez-Molina, E. and 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.
- Carrillo, F. J. A.; García, E. R. S.; Muy, R. M. D.; Sañudo, B. A.; Márquez, Z., I.; Allende, M. R.; de la Garza, R. Z.; Patiño, V. M. y Galindo, F. 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. *Rev. Mex. Fitopatol.* 23:24-32.
- Cia, P.; Aparecida, B. E.; De Toledo, V. S. R.; Delgado de Almeida Anjos, V.; Scolfaro, P. F.; Sanches, J. e Monteiro, T. M. 2009. Radiação ultravioleta no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em uva 'Niagara rosada'. *Bragantia, Campinas*. 68:1009-1015.
- Cohen, Y. 2002.  $\beta$ -Aminobutyric acid-induced resistance against plant pathogens. *Plant Dis.* 86:448-457.
- Cooper, W.; Bouzayen, M.; Hamilton, A.; Barry, C.; Rossall, S. and Grierson, D. 1998. Use of transgenic plants to study the role of ethylene and polygalacturonase during infection of tomato fruit by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathol.* 47:308-316.
- Crouch J.; O'Connell, R.; Gan, P.; Buiate E.; Torres, M.; Beirn, L.; Shirasu, K.; Vaillancourt, L. 2014. The genomics of *Colletotrichum*. In: Dean, R. A.; Lichens-Park, A. and Kole, C. (Eds.). *Genomics of plant-associated fungi and oomycetes: Monocot pathogens*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 69-102 pp.
- Du, M.; Schardl, C. Nuckles, E. and Vaillancourt, L. 2005. Using mating-type gene sequences for improved phylogenetic resolution of *Colletotrichum* species complexes. *Mycologia*. 97:641-658.
- Everett, K. R.; Owen, S. G. and J. M. Cutting. 2005. Testing efficacy of fungicides against postharvest pathogens of avocado (*Persea Americana* cv. Hass). *New Zealand Plant Protection*. 58:89-95.
- Freeman, S. 2008. Management, survival strategies, and host range of *Colletotrichum acutatum* on strawberry. *Hort Sci.* 43:66-68.

## Conclusions

The main way to control *Colletotrichum* spp. is through the use of synthetic chemicals. Resistance to fungicides and regulatory pressure regarding pesticide residues and concern for human health are increasing. The biorracionales products such as plant extracts have increased their importance and application in the past three decades, not a fashion, but by the knowledge of their chemical properties necessary to defend efficiently microorganisms and insects, properties that man has used to their benefit, without adversely affected the environment.

Another alternative are biofungicides, widely studied and often have proven to be compatible with other products, and operate through a variety of mechanisms. Regarding the compatibility of beneficial microorganisms with other products is limited, so we have the case of fungi are biofungicides only tolerate mixed with certain synthetic chemical fungicides, it is necessary that the producer knows the different chemical groups that belong fungicides and to make effective and efficient use of bio-fungicides. Inducers of plant defense have proven effective in suppressing *Colletotrichum* spp. Both alone and in combination with other products.

Genetic manipulation is one of the most viable alternatives today; however, is an expensive strategy that requires more knowledge to safely consider also getting an engineered product can take years to achieve, which involves expenditure of various resources.

Significantly, the need to control postharvest diseases is what has allowed us to develop strategies that contribute to the success of sustainable agriculture. The integration of various activities aims to reduce dependence on chemical control. In addition, the integration of these activities is intended to promote a production model system that benefits the producer and at the same time enabling the consumer to have a product that meets the quality requirements, without negatively impacting the environment.

*End of the English version*



- Freeman, S. S.; Horowitz, S. and Sharon, A. 2001. Pathogenic and non-pathogenic lifestyles in *Colletotrichum acutatum* from strawberry and other plants. *Phytopathology*. 91:986-992.
- Gamagae, S. U.; Sivakumar, D. and Wijesundera, R. L. C. 2004. Evaluation of postharvest application of sodium bicarbonate incorporated wax formulation and *Candia oleophila* for the control of antracnose of papaya. *Crop Protection*. 23:575-579.



- Gomes, M. S. R.; Osama, T. F. A.; Massola, J. N. S. 2013. Histopathology of *Colletotrichum gloeosporioides* on guava fruits (*Psidium guajava* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 35-2:657-664.
- Govender, V.; Korsten, L. and Sivakumar, D. 2005. Semicommercial evaluation of *Bacillus licheniformis* to control mango postharvest diseases in South Africa. *Postharvest Biol. Technol.* 38:57-65.
- Gutiérrez, A. J. G.; Gutiérrez A. O.; Nieto A. D.; Téliz O. D.; Zavaleta, M. E. y Delgado, S. F. 2004. Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la postcosecha. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22:395-402.
- Hammer, K. A.; Carson, C. F. and Riley, T. V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *J. Appl. Microbiol.* 86:985-990.
- Infante, D.; Martínez, B.; González, N. y Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Protección Vegetal.* 24:14-21.
- Ippolito, A. and Nigro, F. 2000. Impact of preharvest application of biological control agent on postharvest diseases of fresh fruit and vegetables. *Crop Protection.* 19:610-619.
- Janisiewicz, W. J. and Korsten, L. 2002. Biological control of postharvest disease of fruits. *Ann. Review Phytopathol.* 40:411-441.
- Janisiewicz, W. J.; Leverentz, B.; Conway, W. S.; Saftner, R. A.; Reed, A. N. and Camp, M. J. 2003. Control of bitter rot and blue mold of apple integrating heat and antagonistic treatments on 1-MCP treated fruits stored under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 20:129-143.
- 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.
- Karabulut, O. A. and Baykal, N. 2004. Integrated control of postharvest disease of peaches with a yeast, hot water and modified atmosphere packaging. *Crop Protection* 23:431-435.
- Kim, S.; Kim, K. T.; Kim, D. H.; Yang, E. Y.; Cho, M. C.; Jamal, A.; Chae, Y.; Pae, D. H.; Oh, D. G. and Hwang, J. K. 2010. Identification of quantitative trait loci associated with anthracnose resistance in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 28:1014-1024.
- Ko, M. K.; Jeon, W. B.; Kim, K. S.; Lee, H. H.; Seo, H. H.; Kim, Y. S. and Oh, B. J. 2005. A *Colletotrichum gloeosporioides*-induced esterase gene of nonclimacteric pepper (*Capsicum annuum*) fruit during ripening plays a role in resistance against fungal infection. *Plant Mol. Biol.* 58:529-541.
- Korsten, L.; De Jager, G. S.; De Villiers, E. E.; Lourens, A.; Kotzé, J. M. and Wehner, F. C. 1995. Evaluation of bacterial epiphytes isolated from avocado leaf and fruits surfaces for biocontrol of avocado postharvest diseases. *79:1149-1156.*
- Lakshmesha, K. K.; Mallikarjuna, A. S. and Lakshmidivi, N. 2002. Postharvest management of anthracnose disease on capsicum. *Asian Cong. Mycol. Plant Pathol.* 252 p.
- Lakshmesha, K. K.; Lakshmidivi, N. and Majikarjuna, A. 2007. Changes in pectinase and cellulase activity of *Colletotrichum capsici* mutants and their effect on anthracnose disease on capsicum fruit. *Arch. Phytopathol. Plant Protection.* 4:267-279.
- Landero, V. N.; Nieto, A. D.; Téliz, O. D.; Alatorre, R. R.; Orozco, S. M. y Ortiz, G. C. F. 2013. Potencial antifúngico de extractos de cuatro especies vegetales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya (*Carica papaya*) en poscosecha. *Rev. Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 4:47-62.
- Lara, V. F. M.; Nieto, A. D.; Nava, D. C.; Gutiérrez, A. G.; Ayala, G. J. O.; Aguilar, P. L. A. y Martínez, T. D. 2014. Efecto del glucorafano aislado de floretes de brócoli sobre la germinación de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides*. *Rev. Fitotec. Mex.* 37:141-147.
- Lee, J.; Hong, J.; Do, J.; Yoon, J.; Lee, J. D.; Hong, J. H.; Do, J. W. and Yoon, J. B. 2010. Identification of QTLs for resistance to anthracnose to two *Colletotrichum* species in pepper. *J. Crop Sci. Biotechnol.* 13:227-233.
- Lee, S.; Hong, J. C.; Jeon, W. B.; Chung, Y. S.; Sung, S.; Choi, D.; Joung, Y. H. and Oh, B. J. 2009. The salicylic acid-induced protection of non-climacteric unripe pepper fruit against *Colletotrichum gloeosporioides* is similar to the resistance of ripe fruit. *Plant Cell Reports.* 28:1573-1580.
- Lin, S. W.; Gniffke, P. A. and Wang, T. C. 2007. Inheritance of resistance to pepper anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum*. *Acta Hort.* 760:329-334.
- Loaiza, J. E. and Rivera, G. 2000. Potencial biocida de extractos de *Gliricidia psepium* contra patógenos del cultivo de la papaya. *Agron. Costarric.* 1:29-36.
- Molina, B. E.; Ronquillo, E. J.; Bautista, B. S.; J. R.; Verde, C. J. R. and Morales, L. J. 2010. Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biol. Technol.* 57:132-137.
- O'Farrill, N. H. S. A. 2008. Insecticidas biorracionales. <<http://academic.uprm.edu/ofarrill/HTMLobj-323/biorational.pdf>>.
- Oh, B. J.; Kim, K. D. and Kim, Y. S. 1999. Effect of cuticular wax layers of green and red pepper fruits on infection by *Colletotrichum gloeosporioides*. *J. Phytopathol.* 147:547-552.
- Pakdevaraporn, P.; Wasee, S.; Taylor, P. W. J. and Mongkolporn, O. 2005. Inheritance of resistance to anthracnose caused by *Colletotrichum capsici* in *Capsicum*. *Plant Breed.* 124:206-208.
- Prabhakaran, N. K. P. 2010. The agronomy and economy of important tree crops of the developing world. (Eds.) Elsevier. USA. 58 p.
- Quaglia, M.; Ederli, L.; Pasqualini, S. and Zizzerini, A. 2011. Biological control agents and chemical inducers of resistance for postharvest control of *Penicillium expansum* Link. on apple fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 59:307-315.
- Ragazzo-Sánchez, J. A.; Coria-Tellez, Ramírez de León, J. A.; Ortiz-Basurto, R. I.; Cabanillas-Beltrán, H. and Calderon-Santoyo, M. 2015. Control of anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.) var. ataulfo by high hydrostatic pressure combined with moderated temperature and the biocontrol agent *Candida famata*. *Sylwan.* 159:448-460.
- Rassooli, I. and Mirmostafa, S. A. 2003. Bacterial susceptibility to and chemical composition of essential oils from *Thymus kotschyanus* and *Thymus persicus*. *J. Agric. Food Chem.* 51:2200-2205.
- Robertson, D. 2004. VIGS vectors for gene silencing: many targets, many tools. *Annual Review Plant Biol.* 55:495-519.

- Shen, S.; Goodwin, P. H. H. and Siang, T. 2001. Infection of *Nicotiana* species by the anthracnose fungus, *Colletotrichum orbiculare*. *Eur. J. Plant Pathol.* 107:763-773.
- Spadaro, D. and Gullino, M. L. 2004. State of the art and future prospects of the biological control of postharvest fruit disease. *Int. J. Food Microbiol.* 91:185-194.
- Terry, L. A. and Joyce, D. C. 2004. Elicitors of induced disease resistance in harvested horti-cultural crops: a brief review. *Postharvest Biol. Technol.* 32:1-13.
- Van der Ent, S.; Van Hulst, M.; Pozo, M. J.; Czechowshi, T.; Udvardi, M. K.; Pieterse, C. M. J. and Ton, J. 2009. Priming of plant innate immunity by rhizobacteria and  $\beta$ -aminobutyric acid: differences and similarities in regulation. *New Phytologist*. 183:419-431.
- Vanneste, J. L. and Boyd, R. J. 2002. Inhibition of *Erwinia amylovora* and potential antagonistic bacteria by essential oils and natural compounds. *Acta Hort.* 590:315-317.
- Vos, C. M.; Yang, B.; De Coninck, B. and Cammue, B. P. A. 2014. Fungal (-like) biocontrol organism in tomato disease control. *Biological Control.* 74:65-81.
- Wi, S. J. and Park, K. Y. 2002. Antisense expression of carnation cDNA encoding ACC synthase or ACC oxidase enhances polyamine content and abiotic stress tolerance in transgenic tobacco plants. *Molecular Cells.* 13:209-222.
- Xiao, C. L.; MacKenzie, S. J. and Legard, D. E. 2004. Genetic and pathogenic analyses of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from strawberry and noncultivated host. *Phytopathology.* 94:446-453.
- Yang, V. W. and Clausen, C. A. 2007. Antifungal effect of essential oils on southern yellow pine. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 59:302-306.
- Zimmerli, L.; Mettraux, J. P. and Mauch-Mani, B. 2001.  $\beta$ -Aminobutyric acid-induced protection of *Arabidopsis* against the Necrotrophic Fungus *Botrytis cinerea*. *Plant Physiology.* 126:517-523.