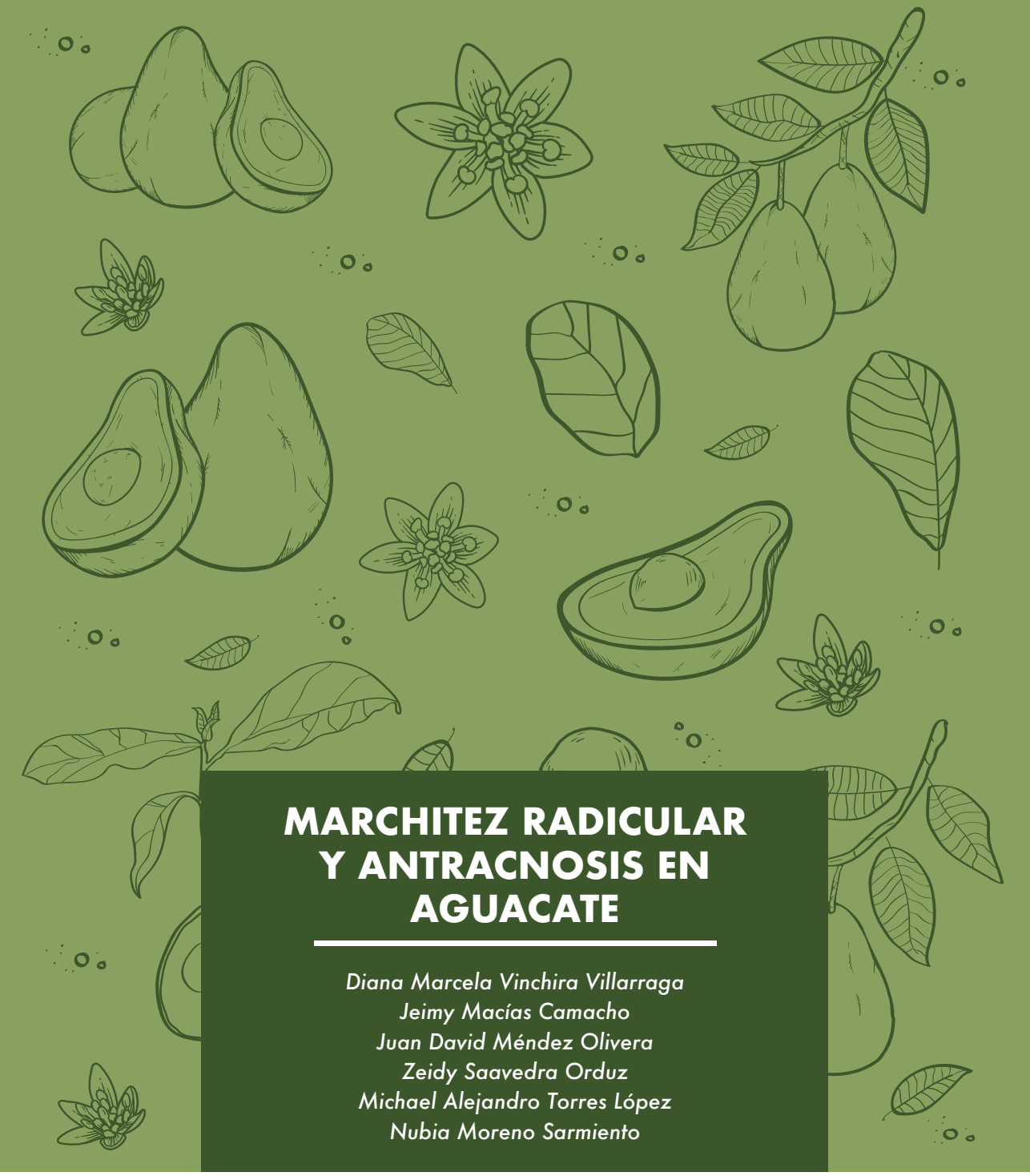


MARCHITEZ RADICULAR Y ANTRACNOSIS EN AGUACATE

Diana Marcela Vinchira Villarraga
Jeimy Macías Camacho
Juan David Méndez Olivera
Zeidy Saavedra Orduz
Michael Alejandro Torres López
Nubia Moreno Sarmiento

GOBERNACIÓN DEL TOLIMA
el Tolima nos une
Biocultivos® Agricultura sostenible
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Universidad del Tolima

MARCHITEZ RADICULAR Y ANTRACNOSIS EN AGUACATE

Estrategias de diagnóstico y manejo

GOBERNACIÓN DEL TOLIMA

el Tolima nos une

Biocultivos®
Agricultura sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Universidad del Tolima

COORDINACIÓN GENERAL DEL PROYECTO MARCO

Angélica Piedad Sandoval Aldana, I.Q. Ph.D.
Profesora asistente Facultad de Ingeniería Agronómica.
Universidad del Tolima

DIRECTIVOS GOBERNACIÓN DEL TOLIMA

Ricardo Orozco Valero
Gobernador del Tolima

Beatriz Valencia Gómez
Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Producción Alimentaria del Tolima

Juan Pablo García Poveda
Secretario de Planeación y TIC

Simón Harrison Bustos Torres
Juan Manuel Rojas Rojas
Supervisores del Convenio

DIRECTIVOS UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Omar A. Mejía Patiño
Rector Universidad del Tolima
Jonh Jairo Méndez Arteaga
Director Oficina de Investigaciones – Universidad del Tolima

GOBERNACIÓN DEL TOLIMA el Tolima nos une Biocultivos® Agricultura sostenible UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Universidad del Tolima

Marchitez radicular y antracnosis en aguacate : estrategias de diagnóstico y manejo / Diana Marcela Vinchira Villarraga … [et al.] -- 1ª. ed. -- Universidad del Tolima, Gobernación del Tolima, Proyecto Ocho Cadenas 2020
51 p. : il., gráficas

ISBN: 978-958-5569-92-8

1. Aguacate – Plagas agrícolas 2. Aguacate - Enfermedades y plagas 3. Aguacate - Cultivo I. Título II. Vinchira Villarraga, Diana Marcela III. Macías Camacho, Jeimy IV. Méndez Olivera, Juan David V. Saavedra Orduz, Zeidy VI. Torres López, Michael Alejandro VII. Moreno Sarmiento, Nubia

634.653
M317

© Diana Marcela Vinchira Villarraga, Jeimy Macías Camacho, Juan David Méndez Olivera, Zeidy Saavedra Orduz, Michael Alejandro Torres López y Nubia Moreno Sarmiento.
© Sello Editorial Universidad del Tolima, 2020
©Proyecto *"Estrategias biológicas para el manejo nutricional y fitosanitario en cultivos de arroz y aguacate que mejoran la competitividad y sostenibilidad en las cadenas productivas del Tolima"*

Edición
Nubia Moreno-Sarmiento
Primera edición, 250 ejemplares.
ISBN: 978-958-5569-92-8
ISBN versión digital: 978-958-5569-93-5
Número de páginas: 51
Ibagué-Tolima

Universidad Nacional de Colombia,
Instituto de Biotecnología - Grupo Bioprocesos y Bioprospección.
Biocultivos S.A.
Universidad del Tolima
Gobernación del Tolima
Convenio marco 2077-2017
"Desarrollo de ventajas competitivas mediante actividades i+D+I en ocho cadenas del sector agropecuario en el departamento del Tolima".

ncmorenos@unal.edu.co
publicaciones@ut.edu.co

Diseño y diagramación por:
Diego Fernando Orjuela Vinchira y Zahira Lizeth León Pérez.
Impresión: León Gráficas S.A.S.
Ibagué, Tolima.

Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio, sin permiso expreso del autor.

MARCHITEZ RADICULAR Y ANTRACNOSIS EN AGUACATE:

Estrategias de diagnóstico y manejo

AUTORES

Diana Marcela Vinchira-Villarraga
Bacteriologa, MSc en Ciencias – Microbiología, PhD.(c)
Investigadora Grupo Bioprocesos y Bioprospección
Instituto de Biotecnología Universidad Nacional de Colombia

Jeimy Macías-Camacho
Ingeniera Química, MSc en Ingeniería Química
Investigadora Grupo Bioprocesos y Bioprospección
Instituto de Biotecnología Universidad Nacional de Colombia

Juan David Méndez-Olivera
Estudiante ingeniería agronómica - Pasante
Universidad del Tolima

Zeidy Saavedra-Orduz
Ingeniera Agrónoma
Departamento Técnico Biocultivos S.A

Michael Alejandro Torres-López
Ingeniero Agrónomo
Director Departamento Técnico Biocultivos S.A

Nubia Moreno-Sarmiento
Ingeniera Química MSc en Ingeniería Química MSc en Biotecnología
Profesora Titular. Universidad Nacional de Colombia

GOBERNACIÓN DEL TOLIMA · el Tolima nos une · Biocultivos® Agricultura sostenible · UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA · Universidad del Tolima

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del Tolima y a la Universidad del Tolima por su financiación mediante recursos del Sistema General de Regalías (SGR) derivados del convenio número 19-2019 Estrategias biológicas para el manejo nutricional y fitosanitario en cultivos de arroz y aguacate que mejoran la competitividad y sostenibilidad en las cadenas productivas del Tolima. Este está enmarcado en el convenio 2077-2017 denominado "DESARROLLO DE VENTAJAS COMPETITIVAS MEDIANTE ACTIVIDADES I+D+I EN OCHO CADENAS DEL SECTOR AGROPECUARIO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA"

GOBERNACIÓN DEL TOLIMA · el Tolima nos une · Biocultivos® Agricultura sostenible · UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA · Universidad del Tolima

INVESTIGACIÓN, CREATIVIDAD Y ACCIÓN PARA LA PRODUCTIVIDAD Y LA COMPETITIVIDAD DEL TOLIMA

Las políticas públicas que prevalecen en el tiempo deben ser la razón de los gobiernos, de manera que la construcción institucional y social de las grandes apuestas en una región, también deben ser dirigidas a potenciar las enormes ventajas comparativas que tiene el departamento, para volverlas competitivas. Es así, como la gobernación del Tolima ha hecho la gran apuesta sobre ocho (8) cadenas productivas presentadas en este documento, lo que sin duda representa un gran salto en materia de productividad y competitividad hacia el mercado nacional e internacional.

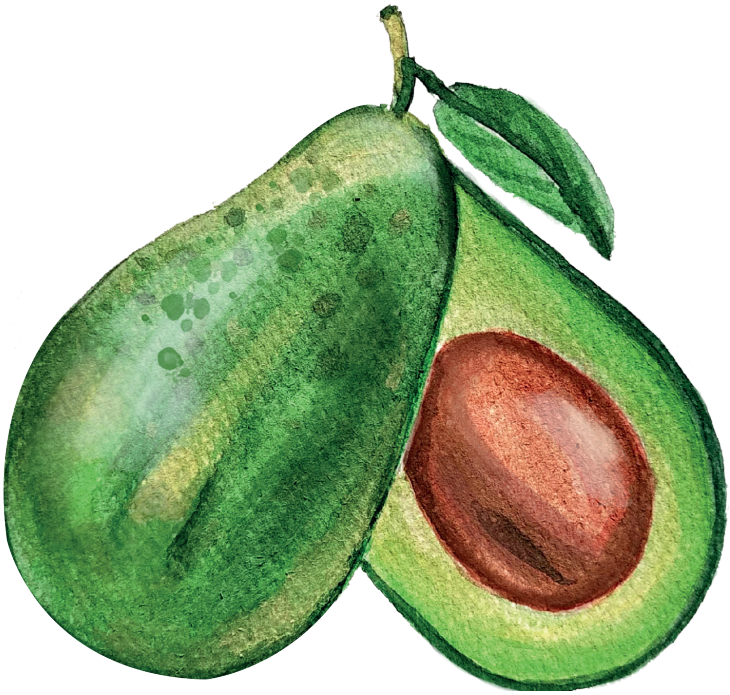
Aunado a esta circunstancia y con el ambicioso plan del gobierno El Tolima Nos Une, de construir el Centro de Investigación Tecnológica, quedaremos a la vanguardia en el país para ser el departamento de mayor apuesta en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI) para mejorar la competitividad y la calidad de vida de los ciudadanos.

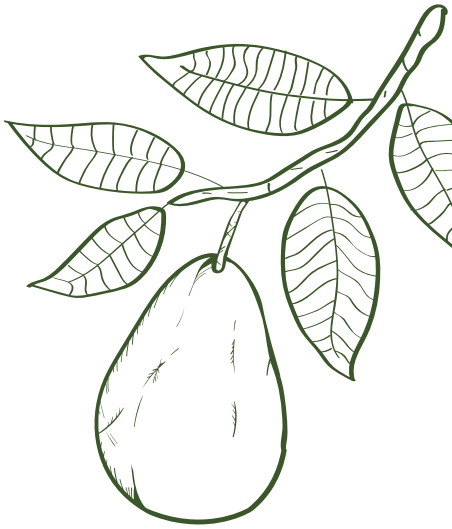
En este documento se podrán encontrar el esfuerzo económico y de recurso humano, que ha hecho la gobernación del Tolima con sus grandes aliados, la academia, los productores y un sinnúmero de actores que dejaron lo mejor de sí, en este gran proceso de construcción social, creativa y armónica para la competitividad.

JOSÉ RICARDO OROZCO VALERO
Gobernador departamento del Tolima

CONTENIDO

	Introducción	**11**
01	**Generalidades del cultivo**	**12**
02	**La pudrición radicular en el árbol de Aguacate** *Phytophthora cinnamomi var. cinnamomi Rand.*	**14**
2.1	¿Qué es la pudrición radicular del aguacate y por qué es importante?	**14**
2.2	¿Quién es *Phytophthora cinnamomi*?	**17**
2.3	¿Qué síntomas produce y qué condiciones favorecen la enfermedad?	**19**
2.4	¿Como se puede manejar?	**22**
2.5	Identificación del Patógeno	**24**
03	**Antracnosis en frutos de aguacate** *Colletotrichum* spp.	**32**
3.1	¿Qué es la antracnosis?	**31**
3.2	¿Quién es *Colletotrichum* spp?	**32**
3.3	¿Qué síntomas produce y que condiciones favorecen su aparición?	**36**
3.4	Identificación del patógeno	**38**
3.5	¿Como se puede manejar?	**39**
04	**Conclusiones y recomendaciones**	**44**
05	**Referencias**	**46**





INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto *"DESARROLLO DE VENTAJAS COMPETITIVAS MEDIANTE ACTIVIDADES I+D+i EN OCHO CADENAS DEL SECTOR AGROPECUARIO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA"* se apoyó la iniciativa "Estrategias biológicas para el manejo nutricional y fitosanitario en cultivos de arroz y aguacate que mejoran la competitividad y sostenibilidad en las cadenas productivas del Tolima", ejecutada por Biocultivos S.A., y el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, en la cual se realizó un análisis del comportamiento y presencia de los patógenos causantes de las enfermedades comúnmente denominadas tristeza o marchitez o pudrición de las raíces y de la antracnosis en frutos del cultivo de aguacate, adicionalmente se evaluó el uso de alternativas biológicas para su manejo. Como resultado del trabajo se presenta esta cartilla que contiene información general de ambas enfermedades y los resultados del uso insumos biológicos sumado a un protocolo de manejo integrado del cultivo con buenas prácticas agrícolas.

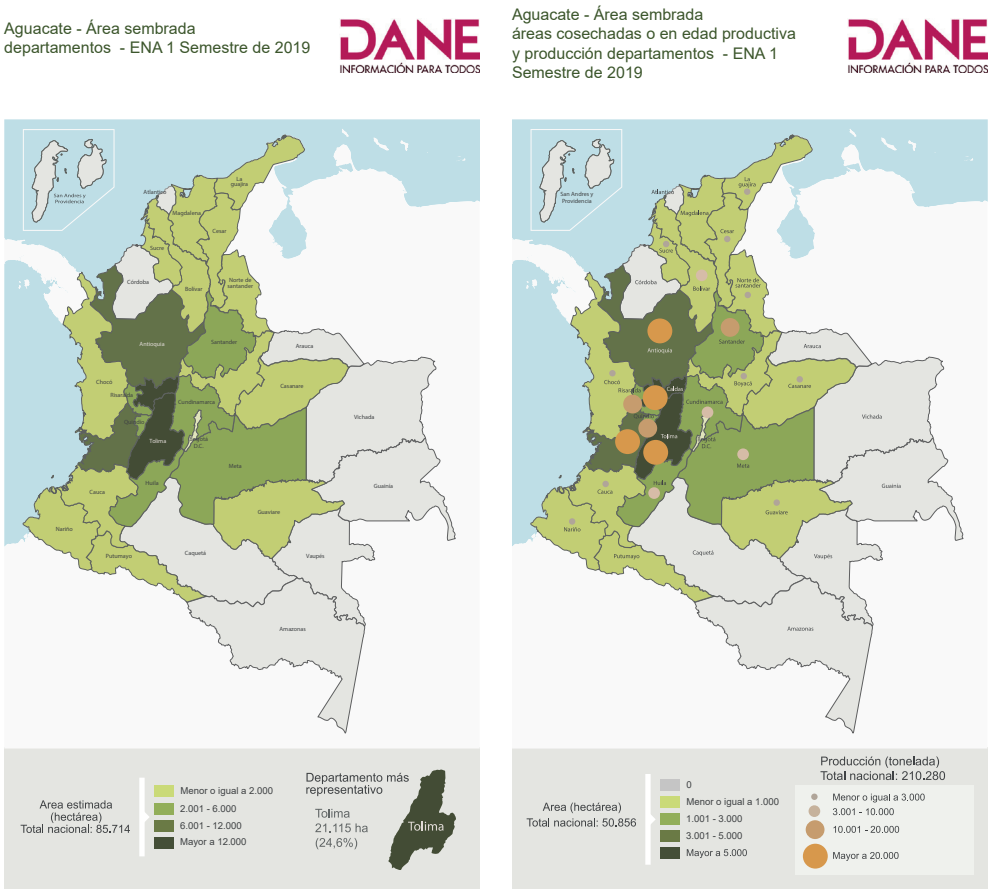
01 Generalidades del Cultivo

El aguacate (*Persea americana Miller*) es uno de los árboles frutales más importantes en el mundo y se cultiva tanto en regiones tropicales como subtropicales. Las variedades comerciales provienen de tres razas botánicas: *P. americana var. drymifolia*, originaria de México; *P. americana var. guatemalensis*, de Guatemala, y *P. americana var. americana* de la costa pacífica de América Central. Actualmente, la variedad Hass (cruce de *P. americana var. drymifolia* y P*. americana var. guatemalensis*) es uno de los productos más demandados en el mercado internacional y es un importante fruto de exportación en países en vías de desarrollo de América, Asia y África (Chen, Morrell, Ashworth, de la Cruz y Clegg, 2009; Galindo-Tovar, Ogata-Aguilar y Arzate-Fernández, 2008; Ploetz, 2013).

Para el año 2018 la producción mundial de aguacate fue de 6´407.171 toneladas de un área total sembrada de 918.531 hectáreas. La mayoría de estos cultivos se produjeron en Suramérica y América Central (72.2%), siendo los países con mayor producción México, República dominicana, Perú, Indonesia y Colombia (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), 2019).

Durante el primer periodo de 2019 Colombia produjo 210.280 toneladas de este fruto en más de trece departamentos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2020; FAOSTAT, 2019). De ellos, Valle del Cauca, Tolima, Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío fueron los que presentaron los mayores rendimientos y productividad (Figura 1). Gracias al incremento gradual en la productividad del cultivo y la calidad de frutos obtenidos, las exportaciones de aguacate en Colombia superaron las 30.000 toneladas en el año 2018 con ingresos de USD $62.73 millones (Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex), 2019). Esta cifra indica un aumento del 18% en la cantidad de aguacates exportados con respecto a lo obtenido en el año 2017, demostrándose el crecimiento económico de este cultivo.

Figura 1. *Área sembrada (Izquierda), área cosechada o en edad productiva (derecha) y producción de aguacate (derecha) en Colombia durante el primer semestre del 2019. (Adaptado de DANE, 2020)*



En Tolima, particularmente en el municipio de Cajamarca, el cultivo de aguacate tipo Hass se ha vuelto de vital importancia debido al incremento en la demanda de frutos para exportación que son adquiridos con precios de venta favorables para los agricultores. La oportunidad de producción de aguacate para exportación ha permitido implementar sistemas de manejo integrado del cultivo bajo asistencia técnica profesional. Para ello se han tenido en cuenta las normas de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las regulaciones de predio exportador del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), las cuales han hecho el cultivo rentable puesto que su producción es altamente tecnificada frente a los cultivos tradicionales de la zona.

El incremento en el número de agricultores dedicados al cultivo de aguacate en la zona permitió la creación de Aguacatec, la Asociación de aguacateros de Cajamarca y el departamento del Tolima. Esta se constituyó hace más de siete años y se caracteriza por incluir agricultores a pequeña escala, a quienes se les ofrecen guías de los procesos para la obtención de certificación de predio exportador y se les brinda apoyo para la implementación de buenas prácticas agrícolas. Estas actividades han permitido que la zona sea reconocida por la calidad de frutos que produce para exportación ante empresas que tienen mercados dirigidos a la Unión Europea.

A pesar de sus rendimientos, el cultivo de aguacate presenta problemas fitosanitarios complejos particularmente relacionados con la pudrición de las raíces. Esta enfermedad es generada por el oomiceto Phytophthora cinnamomi Rands y se produce durante todo el ciclo del cultivo (Hardham y Blackman, 2018; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2019; Ramírez-Gil, Ramelli y Morales-Osorio, 2017a), y por la antracnosis, ocasionada por el hongo Colletotrichum spp., enfermedad que se presenta durante el cultivo y en poscosecha (Giblin, Tan, Mitchell, Coates, Irwin y Shivas, 2018; Ramírez-Gil, 2018; Ramírez-Gil et al., 2017b; Tamayo, 2014; Sharma, Maymon y Freeman, 2017). En esta guía se presentan las características más importantes de ambas enfermedades, los microorganismos que las causan e información general acerca de su distribución y manejo en campo.

02 La pudrición radicular en el árbol de Aguacate *Phytophthora cinnamomi Rands*

2.1 ¿Qué es la pudrición radicular del aguacate y por qué es importante?

La pudrición radicular de aguacate es una enfermedad ocasionada por el oomiceto *P. cinnamomi* Rands que limita la producción de este cultivo y que ha sido reportada en más de 56 países alrededor del mundo (Hardham y Blackman, 2018; Pérez-Jiménez, 2008). En Colombia, la pudrición radicular también se conoce como marchitez, tristeza del aguaca-

te, muerte descendente, secadera o moridera (Ruíz, 2019, comunicación personal).

Si bien la marchitez radicular fue descrita desde 1920, los síntomas se asociaron a los efectos de la alta humedad de los suelos sobre las raíces de los árboles. Sin embargo, hacia 1927 en Puerto Rico se reportó el aislamiento de *P. cinnamomi* como el agente causal de la pudrición de las raíces (Tucker, 1929). Este hallazgo fue confirmado en cultivos de aguacate de diferentes países y actualmente se reconoce que el patógeno *P. cinnamomi* se distribuye en todas las zonas dedicadas a este cultivo (Hardham y Blackman, 2018).

La enfermedad se caracteriza por ocasionar decaimiento progresivo del árbol, escaso crecimiento de tejido foliar, marchitez de la planta y muerte de las ramas. En algunos casos, el progreso de la enfermedad puede generar que árboles maduros tengan una sobreproducción de frutos de bajo peso y, por ende, no comercializables (Ramírez-Gil, Castañeda-Sánchez y Morales-Osorio, 2017). Estos síntomas aparecen como resultado de la colonización de *P. cinnamomi*, situación que causa la muerte de las raíces del árbol, particularmente las raicillas absorbentes, limitando en la planta la adquisición de agua o nutrientes del suelo (García-Pineda, Benezer-Benezer, Gutiérrez-Segundo, Rangel-Sánchez, Arreola-Cortés y Castro-Mercado, 2010; Ramírez-Gil, Castañeda-Sánchez y Morales-Osorio, 2014; Pegg, Korsten y Harding, 2002).

Históricamente, la pudrición de las raíces de aguacate ocasionó pérdidas de USD $40 millones anuales en California en 1989 (Ploetz, 2013) y redujo en un 50% la productividad de los cultivos de aguacate en Australia hacia 1974 (Dann, Ploetz, Coates y Pegg, 2013; Salgadoe, Robson, Lamb, Dann y Searle, 2018). En Colombia, la enfermedad se ha reportado en todas las zonas productoras, siendo los departamentos de Bolívar y Sucre los más afectados (Guerrero-Rojas y Ramos-Portilla, 2016). Específicamente, la subregión Montes de María pasó de producir 70.000 toneladas en el año 2004 a 38.000 toneladas en 2010. Esto fue producto de múltiples problemas sanitarios que incluyeron una alta incidencia de *P. cinnamomi*, cuyo desarrollo se vio favorecido por la característica de temperatura media (18-26°C) y altas precipitaciones (1000-1200 mm) de

[1]***Patógeno:*** *Microorganismo que causa enfermedad en un organismo huésped*

la zona (Burbano-Figueroa, 2019; Osorio-Almanza, Burbano-Figueroa, Arcila-Cardona, Vásquez, Carrascal-Pérez y Romero, 2017).

Esta enfermedad se presenta en viveros y plantaciones de diferentes edades (Hardham y Blackman, 2018; Pegg, Korsten y Harding, 2002). Los mayores brotes se producen en épocas de alta humedad y temperatura; además, aquella ha causado pérdidas del 30 al 50% de los árboles en diferentes plantaciones colombianas durante la etapa de vivero y dos años después del establecimiento del cultivo (Bernal y Díaz, 2008; Castaño-Zapata y Leal, 2018; Tamayo-Molano, 2007). Durante el seguimiento por tres años al proceso de infección por *P. cinnamomi* en árboles de aguacate en la región del norte de Antioquia se evidenció una reducción del 89.5% en la producción de fruta en comparación con árboles sanos (Ramírez-Gil, Castañeda-Sánchez y Morales-Osorio, 2017). Se conoce que su incidencia en el país es alta y que junto con otros patógenos puede generar pérdidas de hasta 356 USD en vivero en cada ciclo de producción y hasta de 2340 USD/ha en plantaciones (Ramírez-Gil, Ramelli y Morales-Osorio, 2017b).

Infortunadamente, otro tipo de patógenos y factores abióticos causan síntomas similares como marchitez, flacidez de las hojas, estancamiento del crecimiento, pérdida del vigor, color, brillo, amarillamiento de hojas y muerte del árbol (Pérez-Jiménez, 2008; Ramírez-Gil, 2018; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2019; Ramírez-Gil et al., 2017b; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2013; Tamayo-Molano, 2007; Zentmyer, 1984). En razón a lo anterior es esencial realizar un apropiado diagnóstico de la enfermedad para tomar las medidas fitosanitarias adecuadas con la intención de evitar mayores costos y pérdidas en la producción.

RECUERDE

Los patógenos que causan síntomas similares a *Phytophthora cinnamomi* son *Phytophthora heveae, Phytophthora citricola, Verticillium* sp., *Armillaria mellea, Cylindrocladium* sp., *Rosellinia* sp., *Fusarium solani, Fusarium oxysporum, Fusarium equiseti, Rhizoctonia* sp., *Phymatotrichum omnivorum, Cylindrocladiella* sp., *Cylindrocarpon* sp., *Phytium* sp. *y los nemátodos Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus*

sp. *y Pratylenchus* v (Vitale, Aiello, Guarnaccia, Perrone, Stea y Polizzi, 2012; Dann, Ploetz, Coates y Pegg, 2013; Zea-Bonilla, Martín-Sánchez, González-Sánchez y Pérez-Jiménez, 2011; Pérez-Jiménez, 2008; Tamayo-Molano, 2007; Besoain y Piontelli, 1999; Zentmyer, 1984).

2.2 ¿Quién es *Phytophthora cinnamomi*?

Phytophthora cinnamomi Rands, es un oomiceto (pseudohongos o mohos acuáticos) que ha sido asociado a la pudrición de raíces en 5.000 plantas ornamentales y frutícolas diferentes. Dentro de estas se incluyen algunas como el aguacate, la piña, la macadamia y el durazno en más de setenta (70) países alrededor del mundo (Hardham, 2005; Hardham y Blackman, 2018).

Phytophthora cinnamomi produce tres (03) diferentes estructuras importantes en el ciclo de la enfermedad (*Figura 2*). Las **zoosporas[2],** estructuras globosas formadas en el **esporangio[3]** que poseen un **flagelo[4]** y se diseminan (propagan) en el agua. Este flagelo les permite moverse (nadar) en el agua y llegar hasta las raíces de la planta gracias a que reconocen los **exudados rizosféricos[5]** que estas producen. Cuando llegan a las raíces las zoosporas de *P. cinnamomi* pierden el flagelo y germinan, produciendo un tubo germinativo que entra en las raíces y se disemina por el tejido radicular (particularmente en raíces jóvenes) en forma de **micelio[6]**. Lo anterior ocasiona daño en las células vegetales dado que se alimentan de ellas, lo que conlleva a la muerte de estas y, por ende, a la pudrición de las raíces (Hardham y Blackman, 2018).

*[2]**Zoosporas, clamidosporas y oosporas:** Tipos de esporas sexuales y asexuales producidas por Phytophthora*

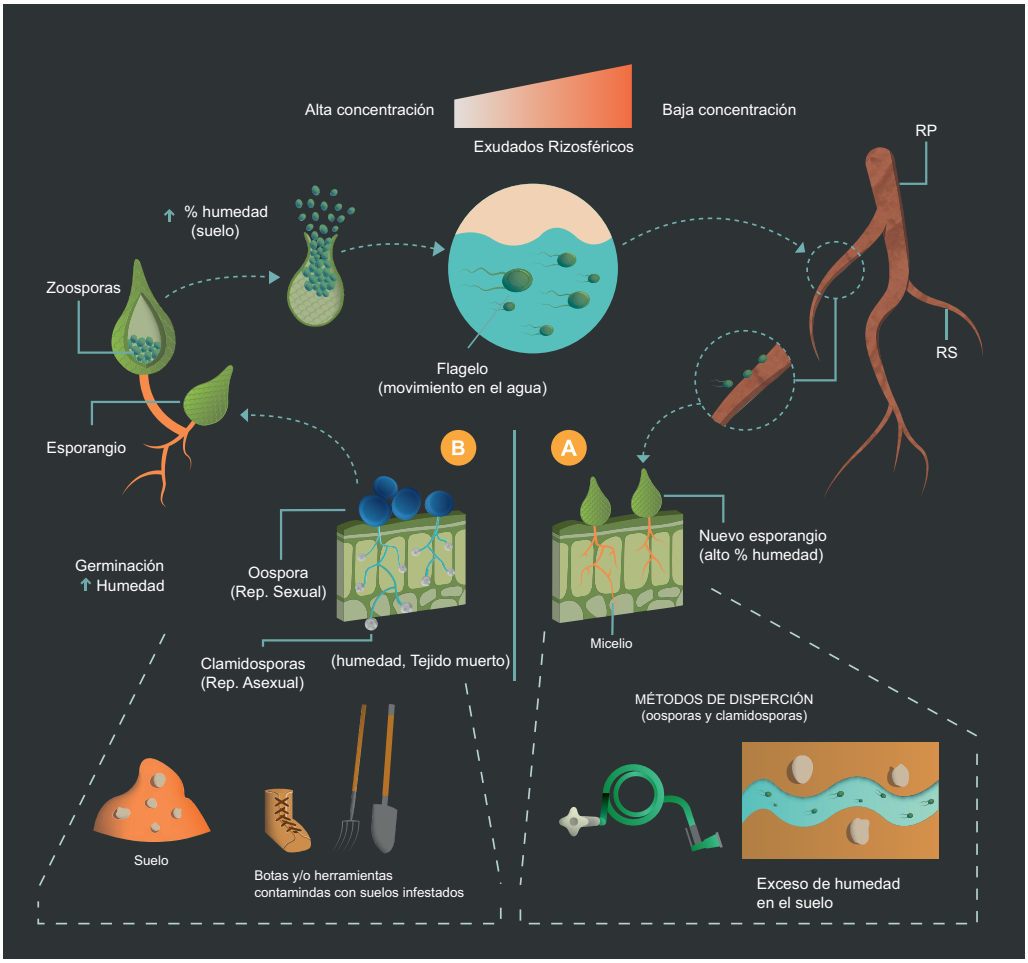
*[3]**Esporangio:** Estructura en la cual se producen las zoosporas*

*[4]**Flagelo:** Estructura en forma de "hilo" que permite el movimiento de los microorganismos en diferentes superficies*

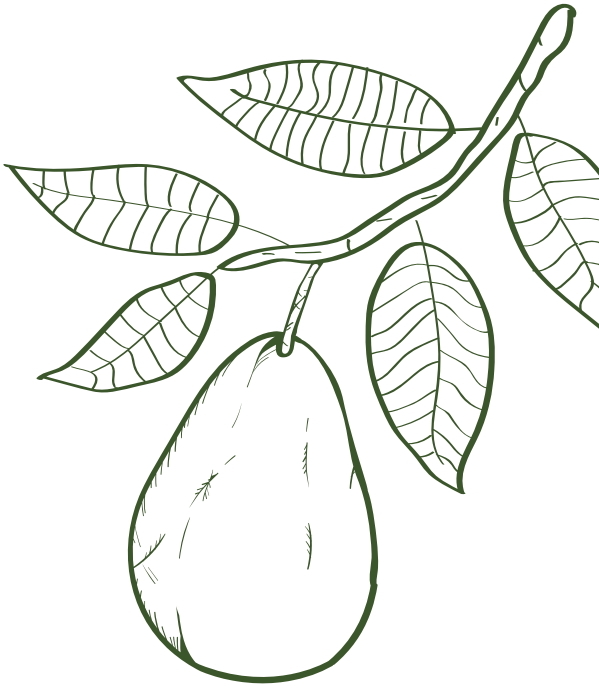
*[5]**Exudados rizosférico:** sustancias como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos que liberan las plantas por las raíces hacia el suelo. Sirven como nutrientes para los microorganismos (benéficos y patógenos)*

*[6]**Micelio**: conjunto de hifas que constituyen el "cuerpo vegetativo" de un hongo. Tienen forma de filamentos*

Figura 2. *Ciclo de vida y patogénesis de Phytophthora cinnamomi. Basado en el ciclo presentado por Dann et al. 2013.*



En el tejido muerto *P. cinnamomi* produce clamidosporas (reproducción asexual) y oosporas (reproducción sexual). Tanto las clamidosporas como las oosporas son más resistentes que las zoosporas y permanecen en el suelo hasta que este presenta alta humedad y temperatura (20-30 °C). Cuando esto ocurre tanto las clamidosporas como las oosporas germinan y producen nuevos esporangios a partir de los cuales se van a generar las zoosporas, las cuales inician un nuevo ciclo de infección (Jung, Colquhoun y Hardy, 2013).



NOTA

¡Diferentes estructuras de *P. cinnamomi* pueden sobrevivir hasta seis (6) años en el suelo y causar nuevas infecciones cuando hay condiciones de alta humedad!

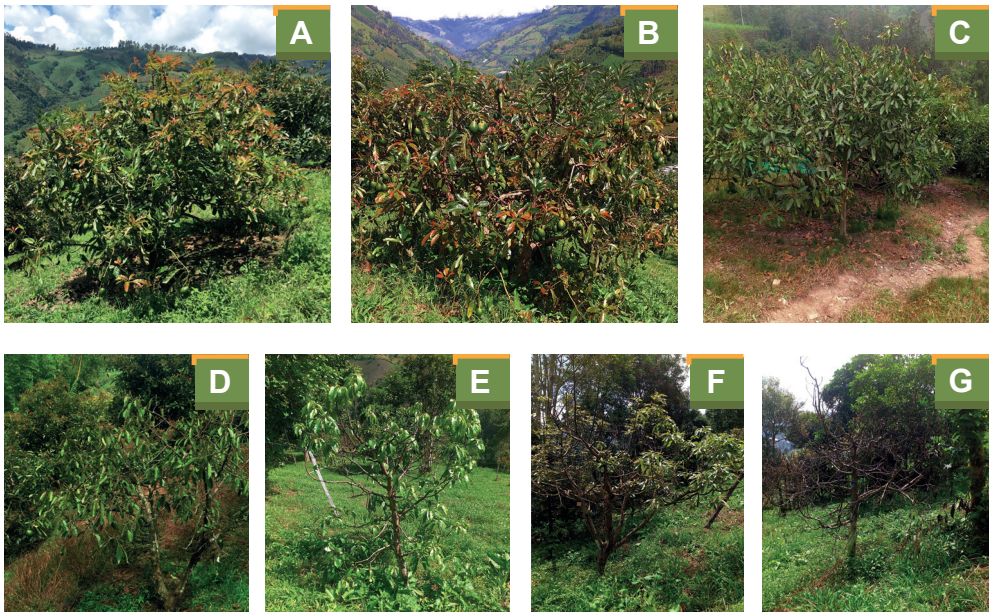
2.3 ¿Qué síntomas produce y qué condiciones favorecen la enfermedad?

La marchitez del aguacate se caracteriza por presentar síntomas iniciales como pérdida de vigor en el árbol, hojas flácidas, con poco brillo y de colores que van del verde oscuro u oliva al verde claro. A medida que la infección progresa, en el árbol se puede apreciar reducción en la generación de nuevos brotes acompañada de defoliación progresiva. En infecciones severas las hojas del árbol presentan clorosis (amarillamiento), defoliación severa y, finalmente, la muerte (*Figura 3*).

RECUERDE

La pudrición de las raíces se puede presentar en todas las etapas de crecimiento del árbol de aguacate

Figura 3. *Síntomas característicos de marchitez radicular ocasionada por P. cinnamomi.*



En la figura 3 se presenta:

A. Árbol sano

B. Árbol con flacidez baja y clorosis (amarillamiento) de las hojas)

C. Árbol con flacidez media, perdida de brillo y reducción en la producción de frutos (número y tamaño.

D. Árbol con flacidez alta, defoliación inferior al 50%, decoloración de hojas y sin brillo, muerte ascendente del patrón y descendente de la copa.

E. Defoliación superior al 50%, flacidez alta, perdida de brillo, decoloración de hojas; verde-amarillento, poco crecimiento de la planta con reducido desarrollo foliar.

F. Defoliación superior al 75%, hojas amarillas y muerte descendente

G. Defoliación total y muerte irreversible.

Fuente: elaboración propia

Paralelamente, cuando la planta presenta raíces pequeñas con necrosis, a medida que la enfermedad es más severa la pudrición avanza hasta las raíces secundarias y primarias del árbol (*Figura 4*). Las raíces se observan con coloración oscura (negras), son quebradizas y se generan pocas raíces secundarias; incluso, a veces hay ausencia de ellas.

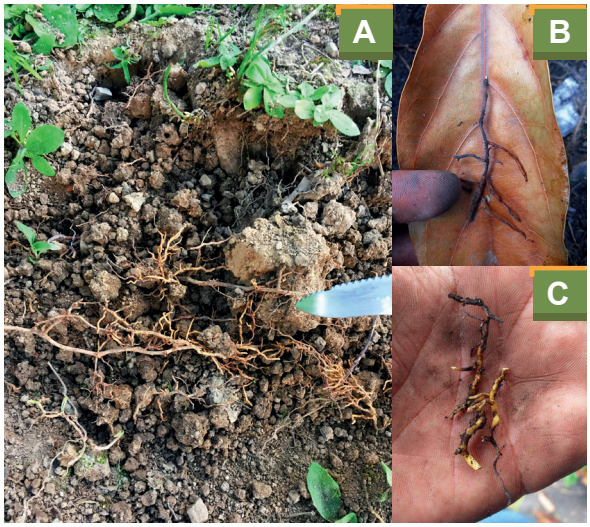


Figura 4. *Síntomas de infección por P. cinnamomi en raíces de aguacate.*

En la figura 4 se presenta:

A. Raíces sanas.
B. Raíces con síntomas iniciales (necrosis progresiva).
C. Raíz totalmente necrótica a causa de la marchitez.
Fuente: elaboración propia

¡ TENGA EN CUENTA !

Los primeros síntomas (ej. Clorosis y la flacidez) suelen aparecer en la copa de los árboles o por sectores de la planta.

Debido a que las zoosporas son liberadas en medios acuosos (agua libre) y necesitan del agua para moverse y llegar hasta las raíces de la planta (e infectarlas), la alta humedad en el suelo es clave para su desarrollo. Evitar realizar riegos excesivos reduce la posibilidad de desarrollo de la enfermedad. Adicionalmente, la presencia de heridas en el tronco o en el sistema radicular de las plantas facilita el ingreso del micelio (tubo germinal) de *P. cinnamomi* a la planta. Por ello, es importante no generar lesiones o heridas en estas zonas, especialmente cuando son plantas jóvenes. En el suelo un pH de 6-6.5 con 15-16% de saturación de O_2 y una temperatura de 20-30 °C son las condiciones que permiten mayor crecimiento y supervivencia de *P. cinnamomi* (CABI, 2019).

RECUERDE

El exceso de humedad en el suelo es el factor **más importante** que favorece el crecimiento e infección de *P. cinnamomi.* El agua de riego y de escorrentía y el transporte de suelo húmedo contaminado pueden promover fácilmente la diseminación de zoosporas (en el agua) y las clamidosporas (en el suelo) de un lote a otro.

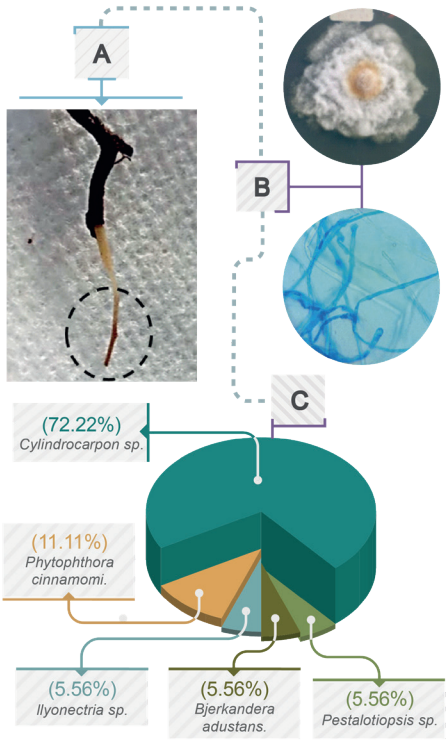
¡ TENGA EN CUENTA !

P. cinnamomi se dispersa también por el uso de herramientas contaminadas con el patógeno. Además, puede aparecer en nuevas áreas de cultivo por el uso de plantas de vivero contaminadas

2.4 Identificación del Patógeno.

Como parte del *Proyecto ocho cadenas* se incluyó una actividad que pretendía realizar el aislamiento e identificación de *P. cinnamomi* en las fincas participantes del municipio de Cajamarca. Para esto se realizó la toma de muestras de árboles con síntomas leves y avanzados de marchitez radicular en dieciocho (18) fincas productoras de aguacate (en su mayoría, de aguacate *tipo Hass*) localizadas en quince (15) veredas. Las muestras correspondían a raíces secundarias con diferentes grados de necrosis (*Figura 5A*), corteza del árbol con chancros y tallos de árboles de aguacate con síntomas de marchitez radicular. A partir de estas muestras se llevó a cabo el proceso de aislamiento y purificación de fitopatógenos, seleccionando aquellos que presentaran características fenotípicas concordantes con *P. cinnamomi.* Posteriormente, estos aislamientos presuntivos fueron identificados con base en la secuencia de la región Internal Transcribed Spacer 1 (ITS) mediante comparación de la secuencia obtenida con la base de datos Genbank.

Figura 5. *Aislamientos de fitopatógenos obtenidos en las fincas participantes del municipio de Cajamarca*



En la figura 12 se presenta:

A. Raíces con necrosis parcial usadas para el aislamiento inicial.
B. Características macroscópicas y microscópicas de uno de los aislamientos de P. cinnamomi obtenidos.
C. Distribución de microorganismos aislados durante el estudio.

Fuente: elaboración Propia

Como se observa en la *Figura 5B-C*, se aisló al *oomiceto P. cinnamomi* en dos fincas de las veredas La Tigresa y El Cedral. En las muestras procesadas también se encontraron los hongos *Ilyonectria* sp. en una finca de la vereda Anaime, *Bjerkandera adusta* y *Pestalotiopsis sp.* en dos fincas de las veredas Arenilla y La Luisa respectivamente, y *Cylindrocarpon* en trece de las fincas evaluadas de las veredas Arenilla, La Luisa, La Cerrajosa, Pan de Azúcar, El Cedral, Altamira, El Águila, El Tostado, La Selva, La Plata Montebello, La Tigrera y Coralito. Como se mencionó anteriormente, estos hongos se han asociado a enfermedades en árboles frutales (incluyendo el aguacate) y se caracterizan por generar síntomas similares (marchitez, reducción del desarrollo, pérdida de vigor, color y brillo, clorosis en hojas y muerte de los árboles) (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2013). De aquí la importancia de hacer un **adecuado diagnóstico** del (de los) patógeno(s) presente(s) en el cultivo para tomar las medidas pertinentes de manejo fitosanitario.

NOTA

Ilyonectria es el nombre del estado sexual (telomorfo) de ***Cylindrocarpon***. En esta evaluación, algunos de los hongos obtenidos se pudieron asociar a la especie ***C. destructans/I. destructans*** la cual es relacionada a la enfermedad conocida como Pudrición negra de raíces de aguacate y fue descrita en Colombia en el 2013 (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2013).

2.5 ¿Como se puede manejar?

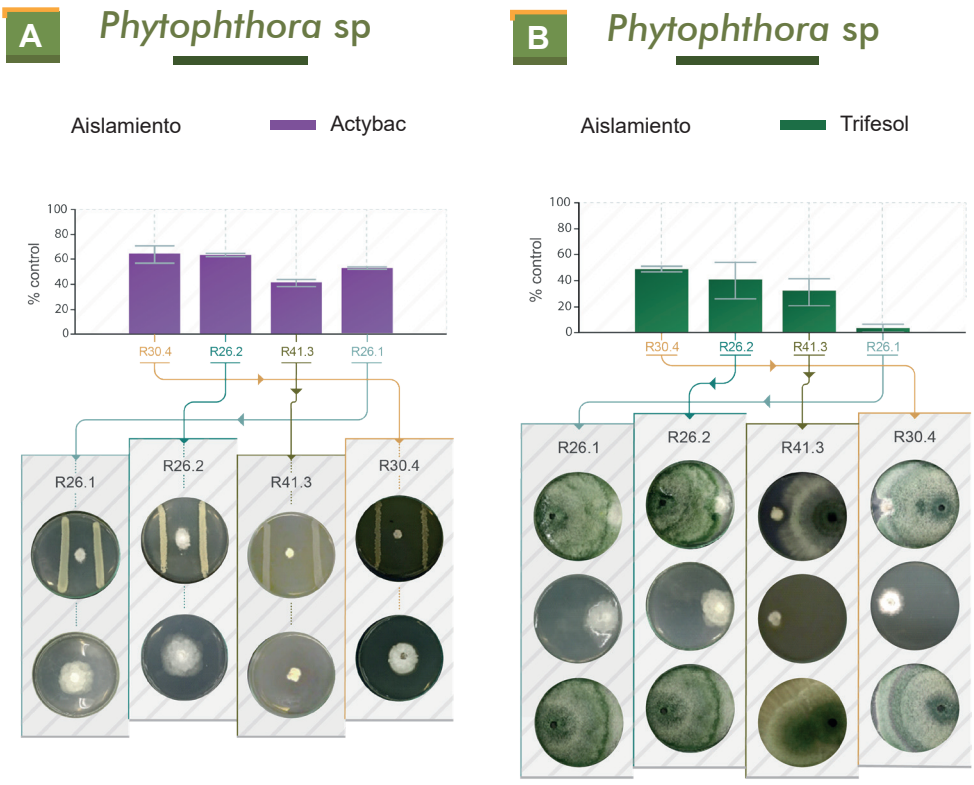
Existen diversos mecanismos de control de *P. cinnamomi*. Dentro de ellos se incluyen las prácticas culturales y de manejo en viveros y plantaciones, y el control químico o biológico del patógeno. En el marco del *Proyecto ocho cadenas* en el que participaron agricultores de la asociación *Aguacatec*, se buscó implementar un sistema de tratamiento biológico para el control de *P. cinnamomi*. Además, realizando pruebas de laboratorio y de aplicación en campo de los productos Trifesol® (principio activo *Trichoderma viride*) y Actybac® (principio activo *Streptomyces racemochromogenes* A20). Para ello, se contó con la participación de varios agricultores en cuyos lotes se aplicaron los productos biológicos Actybac® y Trifesol® en dosis de 1 mL por litro de agua (concentración del producto sin diluir $1x10^8$ UFC/mL o conidias/mL para Actybac® y Trifesol®, respectivamente).

Como se presenta en la *Tabla 1* y en la *Figura 6*, los ensayos de enfrentamiento directo realizados mediante técnicas in vitro (condiciones de laboratorio) permitieron evidenciar que tanto Actybac® como Trifesol® reducen el crecimiento de *Phytophthora* y *Cylindrocarpon* en placas de Petri.

Tabla 1.
Evaluación del control ejercido por Trifesol® y Actybac® sobre ***Phytophthora*** *sp.*

Control de Patógeno
Enfrentamiento dual
Porcentaje de Control Trifesol®
40%
Porcentaje de Control Actybac®
60%

Figura 6. *Ensayos de actividad antifúngica de Actybac® (A) y Trifesol® (B) contra* ***Phytophthora*** *sp. (R26.1) y* ***Cylindrocarpon*** *spp. (R26.2, R30.4, R41).*



En las figuras A y B se presenta

El promedio ± desviación estándar de tres réplicas biológicas realizadas para cada ensayo.

Fuente: elaboración propia

A partir de esta información, se llevaron a cabo ensayos de actividad de ambos productos bajo condiciones de campo. Para ello, se evaluó el efecto individual de Actybac®, Trifesol® y una combinación de ambos (proporción 1:1) sobre el vigor de las plantas tratadas, el cual fue determinado siguiendo la escala propuesta en la *tabla 2*. Estos tratamientos se evaluaron en tres fincas (La cabaña, La Luisa y Tesorito) con diagnostico presuntivo de marchitez radicular. La inoculación se realizó por *Drench* usando 3 litros de cada producto diluido por árbol tratado. Las diferencias entre los tratamientos fueron evaluadas por ANOVA de una via y una prueba de rango multiple Dunca con $p<0.05$.

Tabla 2. *Escala de evaluación del vigor en los árboles tratados con Trifesol® y Actybac® en condiciones de campo.*

ESCALA	CARACTERÍSTICA
1	Planta muy afectada, con muerte regresiva y defoliación igual o superior al 90%
3	Planta con marchitez, se observa afectada y defoliación entre 35%y 89%
5	Planta con marchitez y defoliación menor o igual al 34%
7	Planta con síntomas visibles, hay detención del crecimiento
9	Planta sana

Los ensayos de inoculación de Actybac® y Trifesol® bajo condiciones de campo permitieron evidenciar que los tratamientos, particularmente el tratamiento combinado de ambos productos, incrementaban el vigor de las plantas tratadas. Esto es lo que se presenta en la *Figura 7.*

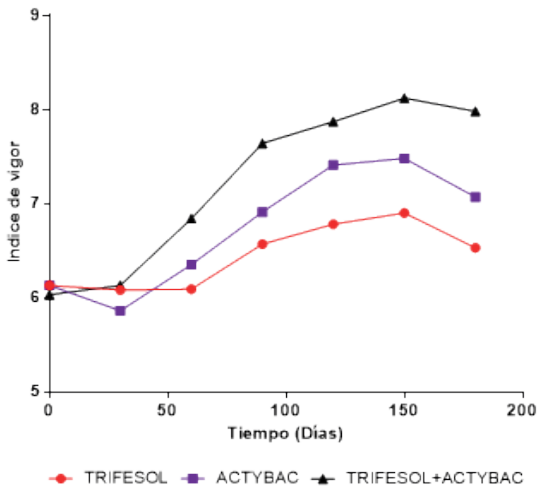


Figura 7. *Variación del vigor de las plantas con Trifesol® y Actybac® en condiciones de campo.*

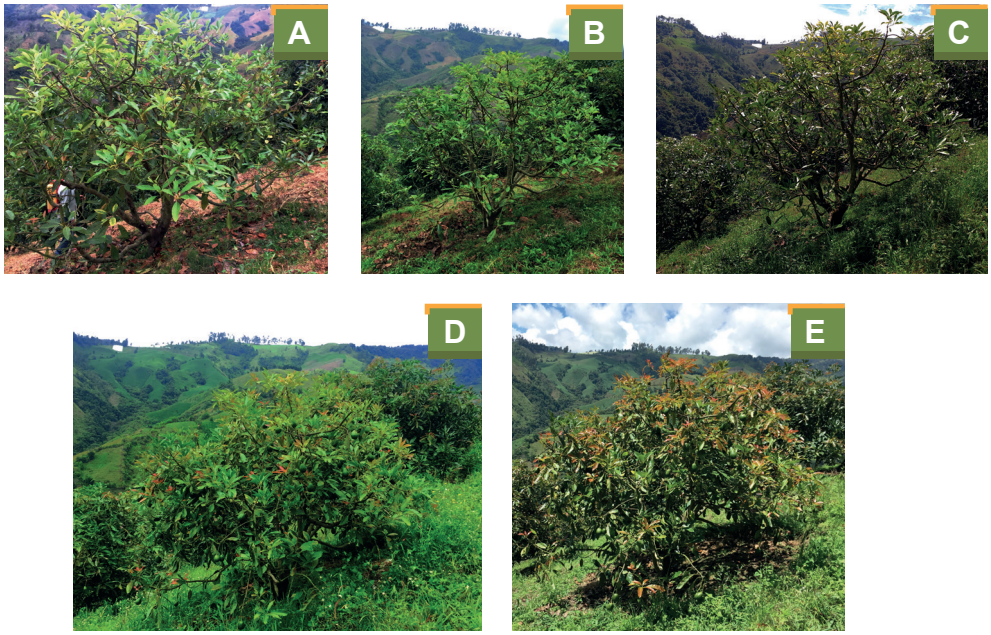
En la figura 7se presenta

El índice de vigor promedio en las tres fincas donde se realizaron los tratamientos descritos.

Fuente: elaboración propia

Las plantas que tenían sintomatologías en fases medias de la enfermedad como flacidez en al menos el 50% de la planta, hojas color verde claro, pérdida de brillo, defoliación baja a media y bajo índice de crecimiento, lograron tener una recuperación significativa. De hecho, mostraron disminución en la flacidez, recuperación de brillo y color en hojas, y reducción de la defoliación (*Figuras 8-10*).

Figura 8. *Recuperación de árbol en la finca La Cabaña del agricultor Mónica Molano.*



En la figura 8 se presenta:

A. Condiciones iniciales del árbol antes de tratamiento.
B. 60 días pos-inoculación.
C. 90 días pos-inoculación.
D. 120 días pos-inoculación.
E. Árbol recuperado tras tratamiento biológico 180 días pos-inoculación.

Fuente: elaboración propia

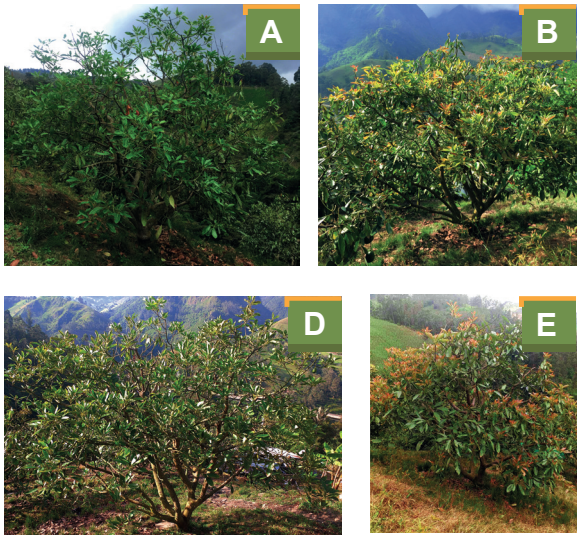


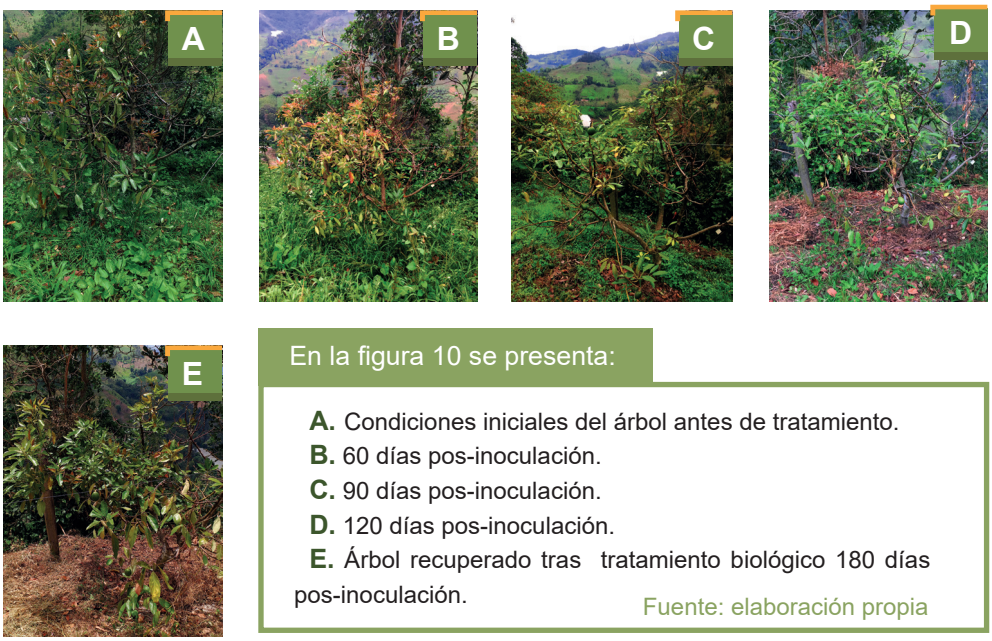
Figura 9. *Recuperación de árbol en la finca La Luisa del agricultor Alberto Salinas.*

En la figura 9 se presenta:

A. Condiciones iniciales del árbol antes de tratamiento.
B. 60 días pos-inoculación.
C. 90 días pos-inoculación.
D. 120 días pos-inoculación.
E. Árbol recuperado tras tratamiento biológico 180 días pos-inoculación.

Fuente: elaboración propia

Figura 10. *Recuperación de árbol en la finca Tesorito del agricultor Julio Moreno.*



En la figura 10 se presenta:

A. Condiciones iniciales del árbol antes de tratamiento.
B. 60 días pos-inoculación.
C. 90 días pos-inoculación.
D. 120 días pos-inoculación.
E. Árbol recuperado tras tratamiento biológico 180 días pos-inoculación.

Fuente: elaboración propia

RECUERDE

Para el control de la marchitez del aguacate se sugiere implementar un programa de manejo integrado que incluya controles culturales, químicos, orgánicos y biológicos. Para disminuir el efecto de la enfermedad en su cultivo siga las siguientes recomendaciones:

1. Antes de ahoyar mida y analice el área de cultivo, calcule, de acuerdo con la distancia de siembra, la cantidad de árboles e identifique zonas de encharcamiento para tomar medidas de mitigación (drenajes) en caso de no ser posible descartar siembras en esas zonas.

2. Comprar las plántulas en viveros certificados y de confianza; así mismo, cuando se realice la compra se recomienda aleatoriamente ver el estado de las raíces de tres a cinco plántulas para descartar problemas de enrollamiento de raíz (cola de marrano) y multiraíz o pudrición de estas. Pueden usarse como comparación las descripciones de la *Figura 4.*

En cultivo establecido y con sintomatología tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Calificar el nivel de enfermedad por árbol de acuerdo con la escala de severidad presentada en la *Tabla 3.* Esta fue desarrollada durante el *Proyecto ocho cadenas* para calificar la enfermedad en plantación establecida con base en el trabajo de Ramírez-Gil y Morales-Osorio (2020).

***Tabla 3.** Escala de severidad de síntomas ocasionadas por P. cinnamomi (para comparación, los síntomas pueden verificarse en la figura 3).*

Nivel	Síntomas
0	Árbol sano
1	Árbol con flacidez baja y clorosis (amarillamiento) de las hojas
2	Árbol con flacidez media, perdida de brillo y reducción en la producción de frutos (número y tamaño).

RECUERDE

3	Árbol con flacidez alta, defoliación inferior al 50%, decoloración de hojas y sin brillo, muerte ascendente del patrón y descendente de la copa.
4	Defoliación superior al 50%, flacidez alta, perdida de brillo, decoloración de hojas; verde-amarillento, poco crecimiento de la planta con reducido desarrollo foliar. Árbol sano
5	Defoliación superior al 75%, hojas amarillas y muerte descendente.
6	Defoliación total y muerte irreversible.

2. Analizar si el árbol está en situación de estrés por exceso de humedad y de ser así, realizar drenaje o eliminar la planta.

3. Cuando estén caracterizados los árboles los que están en nivel 1, 2 y 3 se deben realizar las siguientes labores:

a. Desinfección del suelo aplicando al plato del árbol el producto Ridomil[7] en dosis de 3,5 gramos por litro de agua a aplicar. Hacer la aplicación tres veces cada 10 días.

b. Realizar inyección al árbol de Fosfito de potasio (K) aplicando 2 mL de producto por cada metro de copa disuelto en la misma cantidad de agua aplicada. Repetir aplicación 3 veces en el año.

c. Realizar poda tranquila o suave del árbol, (Retirar entre el 10 - 20% de ramas laterales secundarias para estimular el desarrollo del árbol), desinfectando la herramienta entre árboles.

La desinfección de la herramienta se puede hacer con clorox o hipoclorito diluyendo 10 mL en 1 litro de agua.

d. Realizar fertilización del árbol inmediatamente después de la poda agregando 0,5 kilos por árbol de materia orgánica dentro de la mezcla 3 veces al año.

*[7]**Ridomil:** tiene dos ingredientes activo Metalaxyl-M controla Oomycetos a nivel preventivo y curativo de forma sistémica, por lo que es absorbido por la planta + Mancozeb es protectante de amplio espectro controlando diferentes tipos de hongos*

RECUERDE

e. Aplicar microrganismos productos Actybac® y Trifesol® en el plato del árbol e inmediatamente.

f. Amontonar todos los residuos vegetales (hojarasca, paja o hierbas cortadas) que se tengan en el plato del árbol para proteger raíces nuevas y mantener la humedad en el suelo. A esta práctica se le llama mulch orgánico. Hacer esta práctica cada vez que se guadañe el lote.

g. Aplicar Fosfito de Aluminio (Al) foliar en dosis de 3,5 gramos por litro de agua, este producto tiene efecto sistémico absorbiendose en las hojas y bajando hasta la raíz.

4. Cuando los árboles caracterizados están en los niveles 4, 5 y 6 se realizan las mismas labores con la diferencia de que la poda es severa.

03 Antracnosis en frutos de aguacate. *Colletotrichum* spp.

3.1 ¿Qué es la antracnosis?

La antracnosis es una enfermedad ampliamente distribuida causada por diferentes especies del género *Colletotrichum*, particularmente por aquellas pertenecientes a los complejos fúngicos *C. gloeosporioides, C. acutatum y C. boninense.* Estos hongos representan un importante problema tanto en pre como en poscosecha y son categorizados dentro de los diez (10) hongos patógenos con mayor importancia económica y científica (Dean, Van Kan, Pretorius, Hammond-Kosack, Di Pietro, Spanu, Rudd, Dickman, Kahmann, Ellis y Foster, 2012). De hecho, algunos reportes indican que más del **50% de las pérdidas de frutas y vegetales**

frescos en poscosecha se debe a la infección por *Colletotrichum* spp. (Dean et al., 2012)**.**

Al ser cosmopolitas (mundialmente distribuidas), las especies del género *Colletotrichum* pueden infectar y ocasionar síntomas de antracnosis en diferentes plantas huésped como aguacate, café, melocotón, mango, papaya, tomate, entre otras (Fuentes-Aragón, Juárez-Vázquez, Vargas-Hernández y Silva-Rojas, 2018).

En Colombia la antracnosis del aguacate ha sido asociada a la presencia de hongos pertenecientes a los complejos fúngicos C*. gloeosporioides* y *C. acutatum* (Cobo-Núñez, 2017). Esta enfermedad se caracteriza por la aparición de heridas necróticas oscuras (café-negro) hundidas sin bordes definidos en tallos, hojas, inflorescencias y frutos. Con el paso del tiempo estas heridas se tornan de color salmón (naranja o rosado) debido a la producción de conidios, los cuales son diseminados por el agua o el viento y constituyen la estructura de dispersión del patógeno.

Los síntomas de esta enfermedad en fruto son tardíos dado que el patógeno inicia el proceso de infección al inicio del proceso de maduración. Durante este estadio fenológico el aguacate tiene altos contenidos de metabolitos antifúngicos como el persin. Estos compuestos hacen que *Colletotrichum* permanezca en un estado quiescente hasta que la fruta inicia su maduración. En este momento la producción de compuestos antifúngicos en el fruto disminuye y el hongo es capaz de desarrollarse rápidamente (Sharma, Maymon y Freeman, 2017). A menudo el crecimiento del hongo en frutos maduros conduce a la pérdida de estos durante su almacenamiento en anaquel (Siddiqui y Ali, 2014).

3.2 ¿Quién es *Colletotrichum* spp?

Colletotrichum es el nombre de un género fúngico que cuenta con 189 especies identificadas agrupadas en 11 complejos fúngicos (Jayawardena, Hyde, Damm, Cai, Liu, Li, Zhang, Zhaoy, Yan, 2016). Como se mencionó anteriormente, las especies del género *Colletotrichum* son cosmopolitas y tienen la particularidad de poder infectar a más de una planta huésped (Phoulivong, 2011).

Las especies pertenecientes a los complejos *C. gloesporioides* (38 especies), *C. acutatum* (34 especies)

y *C. boninense* (19 especies) han sido tradicionalmente asociadas al desarrollo de antracnosis en diferentes plantas huésped, incluyendo la del aguacate (Jayawardena et al., 2016). De ellas, *C. gloeosporioides sensu stricto, C. fioriniae, C. aenigma, C. alienum, C. fructicola, C. kahawae, C. queenslandicum, C. siamense, C. boninense, C. acutatum, C. godetiae* y *C. karstii* han sido aisladas de aguacate y se han asociado a los síntomas de antracnosis en Colombia, México, Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Turquía e Israel (Fuentes-Aragón, et al., 2018; Cobo-Núñez, 2017; Jayawardena et al., 2016).

Los hongos del género C*olletotrichum* pueden vivir asociados a la planta como endófitos dado que viven dentro de la planta sin causarle daño, biótrofos[8], necrótrofos[9] o hemibiótrofos[10] (De Silva, Crous, Ades, Hyde y Taylor, 2017). La mayoría de los aislamientos patógenos tienen un estilo de vida hemibiótrofo. *La Figura 11* presenta el ciclo de patogénesis general de los hongos del género *Colletotrichum*. El inóculo inicial de este patógeno son los conidios, los cuales son transportados por el agua (precipitaciones, escorrentía, de riego) o el viento hasta la superficie del tejido de la planta (tallo, hoja, inflorescencias o frutos).

Una vez en contacto con la superficie de la planta, el conidio germina y produce una estructura denominada **apresorio**, la cual mantiene adherido al conidio a la superficie y es a partir de este que se genera un "tubo de penetración" que atraviesa la cutícula. Las **hifas primarias** producidas a partir de este tubo de penetración forman vesículas dentro de las células de la epidermis y mesófilas, a la vez que comienzan a alimentarse de ellas sin llegar a inducir su muerte (fase biotrófica), por lo que no producen síntomas en la planta. Posteriormente se producen **hifas secundarias** que crecen agresivamente y se extienden por el tejido de la planta, causando la muerte de las células invadidas (fase necrotrófica) y las heridas necróticas típicas de la enfermedad (De Silva et al., 2017; Peres, Timmer, Adaskaveg y Correll, 2005).

*[8]**Biótrofos:** hongos patógenos que crecen dentro de la planta y se alimentan de las células de esta sin ocasionar su muerte.*
*[9]**Necrótrofos:** hongos patógenos que invaden la planta y causan la muerte del tejido vegetal para alimentarse de este..*
*[10]**Hemibiótrofos:** viven al inicio como biótrofos y luego pasan a ser necrótrofos*

¡ TENGA EN CUENTA !

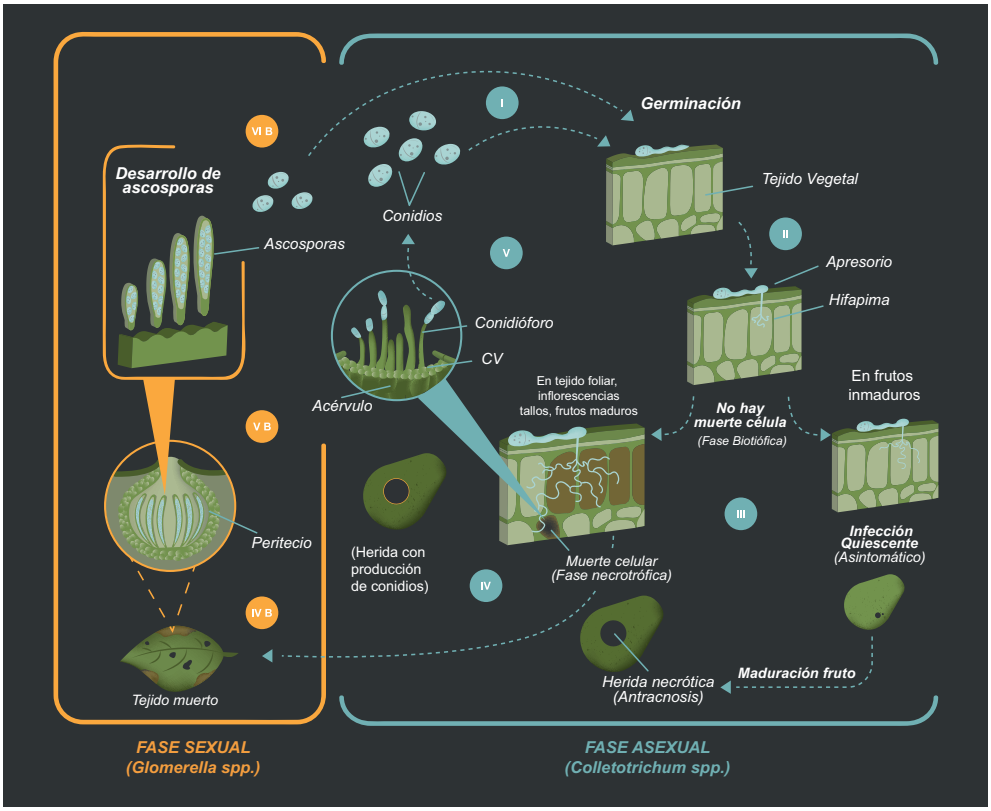
La presencia de heridas en el tejido o las frutas facilitan la penetración del hongo al tejido haciendo que en algunos casos no sea necesaria la formación de apresorio o tubo de penetración

RECUERDE

La infección en frutos de aguacate inmaduros generalmente se detiene tras la formación de las hifas primarias. El hongo reduce su crecimiento y permanece en un estado latente (infección quiescente). Dado que en este punto la infección es asintomática, los frutos se cosechan como “sanos”. Una vez madura y en condición de alta humedad, el hongo sale de este estado y crece rápidamente para ocasionar los síntomas de antracnosis, lo cual ocurre por lo regular en poscosecha.

A medida que la infección avanza las hifas secundarias se compactan para formar acérvulos, a partir de los cuales se originan los conidióforos que están encargados de generar las conidias del hongo. Estas estructuras se producen por reproducción asexual, por lo regular son pigmentadas y permiten ver la coloración salmón, naranja o rosada sobre las heridas necróticas (De Silva et al., 2017; Peres et al., 2005).

Figura 11. *Ciclo de vida y patogénesis de Colletotrichum spp (Basado en el ciclo reportado por De Silva et al., 2017)*



¡ TENGA EN CUENTA !

los conidios de *Colletotrichum* son el principal inóculo del hongo y solo se liberan de los acérvulos en condiciones de alta humedad. Una vez liberados, los conidios son dispersados de una planta infectada a otra por la lluvia y el viento ocasionando nuevos focos de infección.

La fase del ciclo de vida asexual de *Colletotrichum* es la que se asocia con los síntomas de la enfermedad (antracnosis). La forma sexual de este hongo (*Glomerella*) se desarrolla en tejidos en descomposición (muertos) de la planta huésped al final del ciclo de infección. Estos sirven para generar diversificación genética al hongo y contribuyen con su supervivencia y dispersión (Cannon, Dam, Johnston y Weir, 2012).

3.3 ¿Qué síntomas produce y que condiciones favorecen su aparición?

Los hongos del género C*olletotrichum* son capaces de invadir y colonizar inflorescencias, hojas, tallos y frutos de aguacate (*Figura 12*) (Pérez-Jiménez, 2008; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2019). Los síntomas que se presentan varían ligeramente dependiendo del órgano infectado así:

a. Frutos: se observan lesiones pequeñas semicirculares o angulares, hundidas y de aspecto húmedo con bordes marrones. El tejido interno de la lesión inicialmente es firme y presenta una coloración grisácea. Esta se torna café conforme se desarrolla el hongo sobre la piel del fruto para posteriormente invadir la pulpa, causando la podredumbre de este. En etapas tardías se pueden observar **masas naranjas** o **rosadas**, generalmente en forma de anillos concéntricos que corresponden a los conidios del hongo. Las lesiones se desarrollan rápidamente en frutos maduros, particularmente si presentan heridas en la cutícula ocasionadas, por ejemplo, por insectos.

b. Hojas: se observan típicamente heridas circulares necróticas de coloración café y, en estadios avanzados, la infección por *Colletotrichum* puede causar defoliación de la planta. Se ha descrito que las hojas muertas que permanecen unidas a las ramas del árbol actúan como fuente de infección para los frutos.

c. Tallo: se presentan lesiones de coloración café o púrpura de forma ocasional con exudados blanquecinos. Pueden llegar a ocasionar marchitamiento en las ramas y muerte progresiva de la planta.

d. Inflorescencias: se generan heridas de coloración café oscuro que pueden conducir a la caída de las flores y al aborto del fruto.

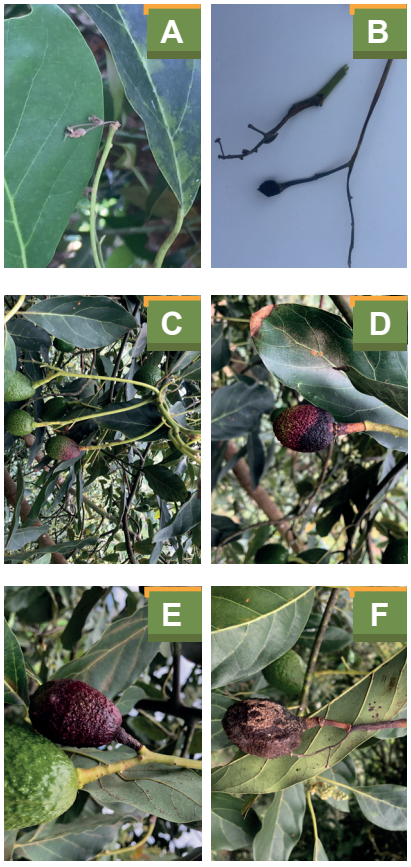
La infección severa en tallo, ramas e inflorescencias en plantas adultas y de vivero puede derivar en la muerte descendente de ramas y brotes (ICA, 2012).

La temperatura óptima de crecimiento de *Colletotrichum* spp. está entre los 25-30 °C y una humedad relativa entre el 80 y 95%. En el caso particular de *C. gloeosporioides*, la humedad relativa ideal para el inicio de la infección es de 95% (Siddiqui y Ali, 2014). Precipitaciones de más de 1500 mm³ anuales favorecen la dispersión de las conidias, ocasionando mayores brotes de la enfermedad.

RECUERDE

Almacenar los frutos a temperaturas entre **25-30°C** y humedad relativa superior al **80%** favorece el crecimiento *de Colletotrichum* incrementando la incidencia de antracnosis en pre y post cosecha.

Figura 12. *Síntomas de la antracnosis en diferentes órganos de plantas de aguacate*



En la figura 12 se presenta:

A. Síntoma en flores
B. Síntoma en ramas y fruto en desarrollo
C. Frutos con síntomas iniciales en la base del pedúnculo.
D. Fruto con síntomas intermedios, crecimiento de la afectación por antracnosis.
E. Fruto con necrosis completa (izquierda) y fruto sano (derecha).
F. Fruto momificado y pedúnculo altamente afectado por la enfermedad, se observa la masa de conidios de coloración salmón sobre el fruto.

Fuente: elaboración propia

Para el diagnóstico en campo es importante realizar monitoreo con intervalos de quince (15) días de frecuencia, revisando ramas, flores y frutos, buscando examinar de veinte (20) a treinta (30) estructuras por árbol. Además, la cantidad de árboles debe ser el 10% del total sembrado, y se requiere hacer conteo de la cantidad de estructuras enfermas y totales para calcular la incidencia (Ramírez-Gil, 2019, comunicación personal).

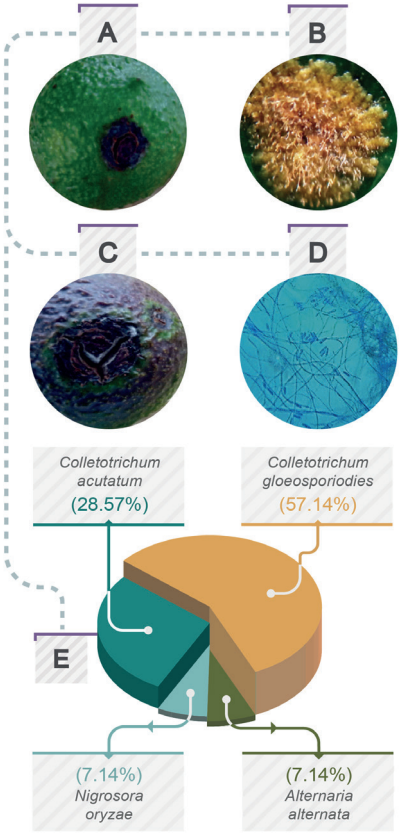
$$Incidencia\ (\%) = \left(\frac{Cantidad\ de\ estructuras\ enfermas}{Catidad\ de\ estucturas\ totales}\right) * 100$$

En periodos de lluvia se debe evaluar cada diez (10) días para mitigar la enfermedad, teniendo en cuenta que la lluvia y la humedad incrementan la probabilidad de infección de ramas, flores y frutos.

3.4 Identificación del patógeno

Dentro de las actividades propuestas en el *Proyecto ocho cadenas* se incluyó el aislamiento y la identificación de hongos del género *Colletotrichum* que pudieran ser relacionados con los síntomas de antracnosis observados en frutos de aguacate del municipio de Cajamarca. Para ello se recibieron muestras de frutos y hojas con síntomas típicos de antracnosis (*Figura 13A*), frutos con necrosis avanzada (*Figura 13B*) y frutos momificados. Todas las muestras fueron evaluadas macroscópicamente permitiendo identificar en algunas de ellas las estructuras de coloración naranja-salmón descritas para este fitopatógeno (*Figura 13C*). Los aislamientos obtenidos con características fenotípicas presuntivas de hongos del género *Colletotrichum* fueron purificados y seleccionados para identificación molecular usando la secuencia de la región ITS.

Figura 13. *Muestras y aislamientos obtenidos de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis.*



En la figura 13 se presenta:

A. Frutos con heridas necróticas circulares.
B. Frutos con necrosis avanzada.
C. Heridas en tejido foliar con coloración naranja-salmón asociadas a *Colletotrichum.*
D. Micelio hialino y conidias ovaladas con septo asociadas al género *Colletotrichum*
E. Asilamientos obtenidos de las muestras evaluadas.

Fuente: elaboración propia

Como resultado, se lograron identificar trece (13) aislamientos del género *Colletotrichum*, de acuerdo con sus características fenotípicas y la secuencia de la región ITS. Estos microorganismos estuvieron cercanamente relacionados a diferentes especies de los complejos *Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum*, y fueron obtenidos en frutos sintomáticos provenientes de las veredas Pan de Azúcar (solo *Colletotrichum gloeosporioides*), La Cerrajosa (*Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum*), El Cedral (*Colletotrichum gloeosporioides*), La Luisa (*Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum*) y Los Alpes (solo *Colletotrichum gloeosporioides*). Adicionalmente, en las muestras recibidas de las veredas La Tigrera y Las Hormigas se encontraron los hongos *Alternaria alternata* y *Nigrosora oryzae*.

En algunos casos, la severidad de las lesiones facilita el crecimiento de otros hongos fitopatógenos sobre el fruto, lo que puede ocasionar infecciones secundarias. Esto se confirmó en varias muestras de frutos con necrosis completa y momificados, a partir de los cuales se obtuvieron otros hongos en su mayoría del género *Fusarium*. El apropiado manejo y control de frutos sintomáticos evita la dispersión de *Colletotrichum* y reduce la posibilidad de infecciones secundarias en el cultivo, lo que puede generar mayores pérdidas para el agricultor.

3.5 ¿Como se puede manejar?

Se debe tener en cuenta que la antracnosis puede iniciar durante la etapa de precosecha y permanecer como una infección asintomática (quiescente) que se caracteriza por una invasión lenta y reducida del patógeno en la planta (Prusky, Alkan, Mengiste y Fluhr, 2013). Al estar en condiciones que favorecen su crecimiento el patógeno sale de este estado e inicia un crecimiento acelerado que induce los síntomas característicos de antracnosis en los frutos hasta la etapa de poscosecha (almacenamiento) (Beno-Moualem y Prusky, 2000; Fischer, Moraes, Firmino y Amorim, 2019). Por ello es importante que se disponga (elimine) el material vegetal con síntomas de antracnosis para reducir el inóculo[11] del patógeno en el cultivo y disminuir la posibilidad de que se desarrolle la enfermedad durante el

[11] ***Inóculo:*** *porción o grupo de conidios que inician una infección en la planta huésped.*

almacenamiento del fruto.

La desinfección de los frutos con agua, hipoclorito o compuestos fungicidas es importante para reducir la cantidad de inóculo de varios patógenos fúngicos que puedan dañarlos. Durante este proceso (y durante la recolección) se debe tener cuidado de no generar heridas en el aguacate. Las heridas facilitan y agilizan el proceso de infección no solo de *Colletotrichum* sino de otros patógenos fúngicos y bacterianos.

En el marco del *Proyecto ocho cadenas* se desarrolló la investigación Estrategias biológicas para el control de enfermedades en el cultivo de aguacate en la que se probaron los productos Actybac® y Trifesol® para el control de la marchitez del aguacate con los siguientes resultados satisfactorios:

- ✓ Actividad antifúngica en condiciones de laboratorio por producción de compuestos volátiles y difusibles.
- ✓ Disminución de la incidencia y severidad de la Antracnosis.
- ✓ Alternativa biológica para el control de enfermedades

Se realizaron pruebas de antagonismo in vitro de Trifesol® y Actybac® contra diecisiete (17) aislamientos de *Colletotrichum* sp. La capacidad de control se evaluó por medio de tres ensayos: difusión en placa, enfrentamiento directo y actividad mediada por volátiles. En la *Tabla 4* y *Figura 14*, se encuentran los resultados obtenidos para cada caso. Para el caso de *Colletotrichum* se evidenció efecto de control por los dos mecanismos evaluados por ambos productos (Trifesol® y Actybac®) con un control del 80% en cada caso.

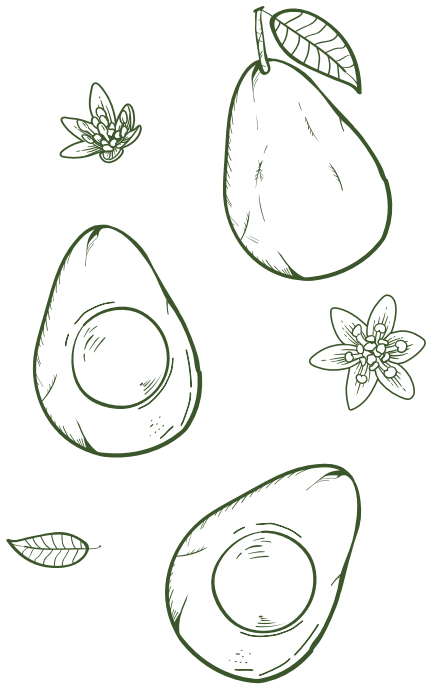
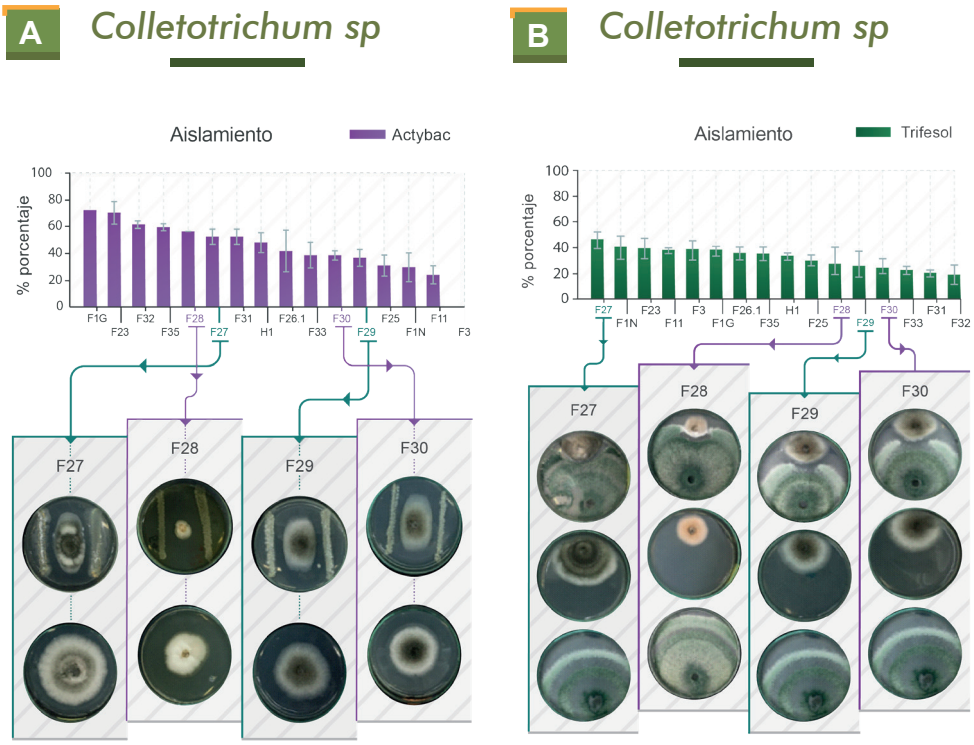


Tabla 4. *Evaluación del control ejercido por Trifesol® y Actybac® sobre Colletotrichum sp.*

Control de Patógeno	Porcentaje de control Trifesol®	Porcentaje de control Actybac®
Enfrentamiento dual	*20 – 40 %*	*60 – 85%*
Volátiles	*60 – 80%*	*50 – 70 % (8 aislamientos)* *20 – 40 % (7 aislamientos)*

Figura 14. *Ensayos de actividad antifúngica de Actybac® (A) y Trifesol® (B) contra Colletotrichum sp.*



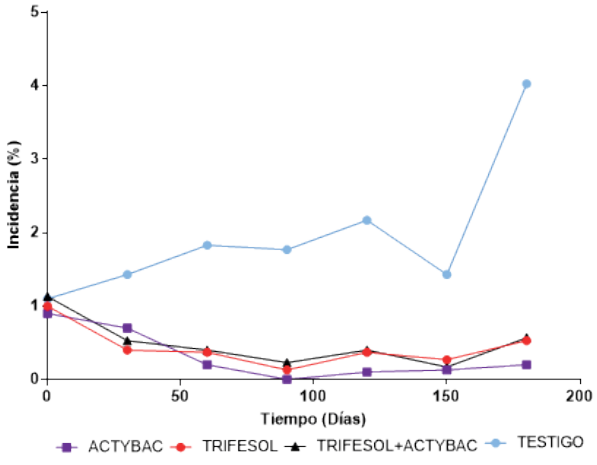
En la figura 14 se presenta:

En las figuras A y B se presenta el promedio ± desviación estándar de tres replicas biológicas realizadas para cada ensayo.

Fuente: elaboración propia

En los ensayos en campo se aplicó Actybac®, Trifesol® o una combinación de ambos en proporción 1:1 en dosis de 1 mL ($1x10^8$ UFC/mL) por litro de agua foliar. Posteriormente se evaluó la incidencia de síntomas en flores y frutos usando la fórmula de incidencia presentada anteriormente. La medición se realizó en sesenta (60) flores o frutos por árbol tratado durante ciento ochenta (180) días después de la aplicación. Las diferencias entre los tratamientos se evaluaron por Anova de una vía con un postest tipo Duncan ($p<0.05$). Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento foliar redujo la incidencia de antracnosis, como se presenta en las figuras 15 y 16.

Figura 15. *Incidencia de antracnosis en flores tratadas con Trifesol® y Actybac® en condiciones de campo.*



En la figura 15 se presenta:

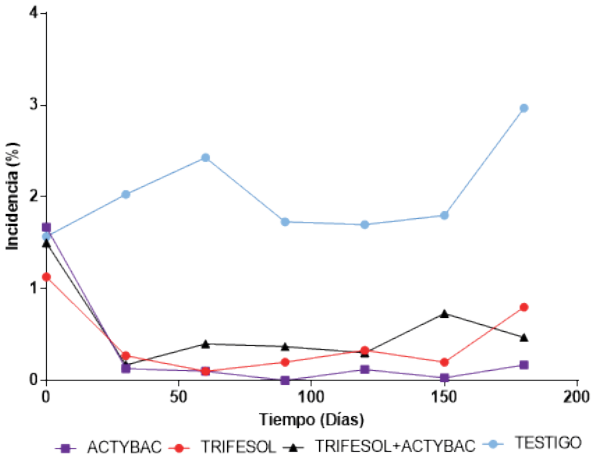
Se presenta la incidencia (%) promedio para cada tratamiento descrito.

Fuente: elaboración propia

Como se presenta en la *Figura 15,* los tratamientos con Actybac®, Trifesol® y su combinación redujeron significativamente la incidencia de antracnosis en las flores tratadas con respecto al testigo sin inocular. En este caso no se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos evaluados.

Un resultado similar se observó en los tratamientos a frutos. Como se muestra en la *Figura 16*, hubo disminución de la cantidad de frutos enfermos con antracnosis después de la aplicación de los bioinsumos Actybac® y Trifesol® a nivel foliar. En este caso, el tratamiento que presentó la mayor reducción en la incidencia de antracnosis correspondió a Actybac® en dosis de 1 L de agua, pues fue el que mantuvo más bajos los niveles de enfermedad en los árboles aplicados durante los ciento ochenta (180) días de la evaluación.

Figura 16. *Incidencia de antracnosis en frutos tratados con Trifesol® y Actybac® en condiciones de campo.*



En la figura 16 se presenta:

Se presenta la incidencia (%) promedio para cada tratamiento descrito.

Fuente: elaboración propia

RECUERDE

Tener en cuenta el momento en el cual se desarrolla la enfermedad (pre o poscosecha) para seleccionar eficientemente el tiempo de aplicación y el fungicida o controlador biológico apropiado para controlar la antracnosis!

04 Conclusiones y Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto denominado *Estrategias biológicas para el manejo nutricional y fitosanitario en cultivos de arroz y aguacate que mejoran la competitividad y sostenibilidad en las cadenas productivas del Tolima* se buscó (i) proporcionar un protocolo base para el seguimiento y manejo de la marchitez radicular y antracnosis en el cultivo de aguacate; (ii) evaluar la incidencia de los patógenos *P. cinnamomi* y *Colletotrichum* spp. en cultivos de aguacate de diferentes zonas del Tolima, y (iii) determinar el efecto de la aplicación de dos productos biológicos, Actybac® y Trifesol®, sobre los síntomas asociados a las enfermedades de interés.

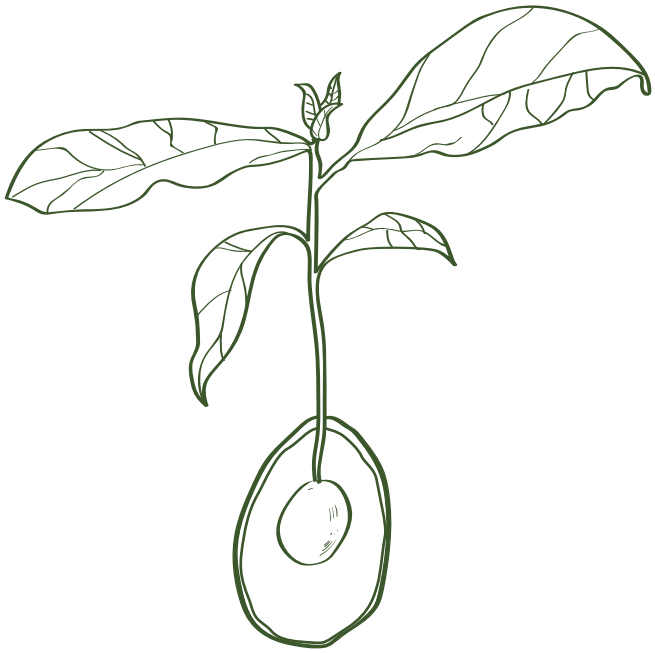
Durante la generación del protocolo de seguimiento y manejo de la marchitez radicular y antracnosis presentado en esta cartilla se evidenció la importancia de la evaluación de síntomas tempranos de ambas enfermedades. De la misma forma, se dio a conocer la utilidad del manejo cultural de ellas mediante podas, manejo de riego, limpieza de herramientas y drenaje de suelo de los cultivos, medidas preventivas que en suma permiten reducir la severidad de ambas enfermedades.

El proceso de aislamiento y recuperación de microorganismos fitopatógenos permitió determinar la presencia de varias cepas de hongos pertenecientes a los complejos fúngicos de *C. gloeosporioides* y *C. acutatum.* Esto se vislumbró a partir de frutos con heridas necróticas que se constituyeron en agente causal de los síntomas de antracnosis evidenciados en las fincas evaluadas. En el caso de las muestras de raíz se obtuvieron dos (2) aislamientos de *P. cinnamomi* y varios hongos fitopatógenos pertenecientes a los géneros *Cylindrocarpon* spp. (teleomorfo, *Ilyonectria* spp.), *Pestalotiopsis* spp. y *Bjerkandera adusta*.

Teniendo en cuenta que la clasificación taxonómica reportada en este trabajo se realizó con base en caracteres fenotípicos y secuencia de la región ITS, se recomienda llevar a cabo pruebas moleculares complementarias como *Multi Locus Sequence Typing* (MLST). Esto per-

mitiría finalizar la identificación de los microorganismos aislados hasta nivel de especie, particularmente para el caso de los hongos del género *Colletotrichum*.

Adicionalmente, en el presente trabajo se determinó que los microorganismos *Trichoderma viride y Streptomyces racemochromogenes* presentan actividad antifúngica frente a *P. cinnamomi*, C*olletotrichum* spp. y *Cylindrocarpon* spp. bajo condiciones de laboratorio. Las pruebas realizadas en campo permitieron evidenciar que la aplicación de productos biológicos como Actybac® *(Streptomyces racemochromogenes)* y Trifesol® (*Trichoderma viride*) contribuyen en la reducción de los síntomas asociados a ambas enfermedades. Además, favorecen la recuperación de los árboles tratados y reducen la aparición de heridas en flores y frutos, siendo un factor relevante para incrementar la productividad en estos cultivos. Con base en estos resultados se propone el uso de ambos productos como una estrategia de control biológico para *Colletotrichum* spp., *P. cinnamomi* y otros hongos fitopatógenos, en pro del manejo sanitario de esta cadena productiva.



05 Referencias

Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex). (2019). Exportaciones de Aguacate colombianas 2018. Obtenido de https://www.analdex.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-Informe-exportaciones-aguacate-2018.pdf el 21 de Abril de 2020.

Beno-Moualem, D. y Prusky, D. (2000). Early events during quiescent infection development by Colletotrichum gloeosporioides in unripe avocado fruits. Phytopathology, 90(5), 553-559. doi:10.1094/PHYTO.2000.90.5.553

Bernal, E. y Díaz, D. (2008). Generalidades del cultivo. En: Tecnología para el cultivo del aguacate. Manual Técnico 5. Rionegro, Antioquia, Colombia: Corpoica, Centro de Investigación La Selva.

Besoain, X. y Piontelli, E. (1999). Pudrición negra en raicillas de palto (Persea americana Mill.) por Cylindrocarpon destructans: patogenicidad y aspectos epidemiológicos. J Boletín Micológico, 14, 41-47.

Burbano-Figueroa, O. (2019). Sistemas agroforestales de aguacate antillano en Montes de María (Colombia): un modelo conceptual del sistema de producción. Revista Chapingo. Serie horticultura, 25(2), 75-102.

CABI. (2019). Phytophthora cinnamomi (Phytophthora dieback) Datasheet. Obtenido de https://www.cabi.org/isc/datasheet/40957 el 18 de Abril de 2020.

Cannon, P.; Damm, U.; Johnston, P. y Weir, B. (2012). Colletotrichum–current status and future directions. Studies in mycology, 73(1), 181-213.

Castaño-Zapata, J. y Leal, J. (2018). Integrated management of avocado root rot (Persea americana Miller), caused by Phytophthora cinnamomi Rands. Temas agrarios, 23(2), 131-143.

Chen, H.; Morrell, P.; Ashworth, V.; de la Cruz, M. y Clegg, M. (2009). Tracing the geographic origins of major avocado cultivars. The journal of heredity, 100(1), 56-65. doi:10.1093/jhered/esn068

Cobo-Núñez G. (2017). Identificación y caracterización de especies de Colletotrichum spp., causantes de antracnosis en frutos de aguacate Persea americana var. Hass. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Dann, E.; Forsberg, L.; Kooke, A.; Pegg, K.; Shivas, R. y Tan, Y. (2011). The 'Cylindro' complex of avocado root pathogens. En: VII Congreso Mundial del Aguacate, Cairns, pp. 1-12.

Dann, E.; Ploetz, R.; Coates, L. y Pegg, K. (2013). Foliar, fruit and soilborne diseases. En B. Schaffer, A. Whiley y B. Wolstenholme (eds.), The avocado: botany, production and uses (pp. 397-398). Cambridge, United States of America: CABI.

De Silva, D.; Crous, P.; Ades, P.; Hyde, K. y Taylor, P. (2017). Lifestyles of Colletotrichum species and implications for plant biosecurity. Fungal Biology Reviews, 31(3), 155-168.

Dean, R.; Van Kan, J.; Pretorius, Z.; Hammond-Kosack, K.; Di Pietro, A.; Spanu, P.; Rudd, J.; Dickman, M.; Kahmann, R.; Ellis, J. y Foster, G. (2012). The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular plant pathology, 13(4), 414-430.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2020). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019-I.pdf el 10 de marzo de 2020.

Fischer, I.; Moraes, M.; Firmino, A. y Amorim, L. (2019). Detection and epidemiological progress of quiescent avocado diseases. Ciência Rural, 49(8), doi:10.1590/0103-8478cr20180731

Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). (2019). Crop statistics. Obtenido de http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/metadata el 14 de mayo de 2020.

Fuentes-Aragón, D.; Juárez-Vázquez, S.; Vargas-Hernández, M. y Silva-Rojas, H. (2018). Colletotrichum fructicola, a member of Colletotrichum gloeosporioides sensu lato, is the causal agent of anthracnose and soft rot in avocado fruits cv. “Hass”. Mycobiology, 46(2), 92-100.

Galindo-Tovar, M.; Ogata-Aguilar, N. y Arzate-Fernández, A. (2008). Some aspects

of avocado (Persea americana Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. Genetic resources and crop evolution, 55(3), 441-450. doi:10.1007/s10722-007-9250-5

García-Pineda, E.; Benezer-Benezer, M.; Gutiérrez-Segundo, A.; Rangel-Sánchez, G.; Arreola-Cortés, A. y Castro-Mercado, E. (2010). Regulation of defence responses in avocado roots infected with Phytophthora cinnamomi (Rands). Plant Soil, 331(1-2), 45-56.

Giblin, F.; Tan, Y.; Mitchell, R.; Coates, L.; Irwin, J. y Shivas, R. (2018). Colletotrichum species associated with pre-and post-harvest diseases of avocado and mango in eastern Australia. Australasian Plant Pathology, 47(3), 269-276. doi:https://doi.org/10.1007/s13313-018-0553-0

Guerrero-Rojas M. y Ramos-Portilla A. (2016). Prevenga y maneje la pudrición radical del aguacate causada por el oomycete Phytophthora cinnamomi Rands. Colombia: ICA ed.

Hardham, A. (2005). Pathogen profile Phytophthora cinnamomi. Molecular plant pathology, 6(6), 589-604.

Hardham, A. y Blackman, L. (2018). Phytophthora cinnamomi. Molecular plant pathology, 19(2), 260-285. doi: https://doi.org/10.1111/mpp.12568

ICA. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana Mill). Medidas para la temporada invernal. Instituto Colombiano Agropecuario. Obtenido de https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/- el 25 de abril de 2020.

Jayawardena, R.; Hyde, K.; Damm, U.; Cai, L.; Liu, M.; Li, X.; Zhang, W.; Zhao, W. y Yan, J. (2016). Notes on currently accepted species of Colletotrichum. Mycosphere 7(8), 1192–1260.

Jung, T.; Colquhoun, I. y Hardy, G. (2013). New insights into the survival strategy of the invasive soilborne pathogen Phytophthora cinnamomi in different natural ecosystems in Western Australia. Forest Pathology, 43(4), 266-288.

Osorio-Almanza, L.; Burbano-Figueroa, Ó.; Arcila-Cardona, Á.; Vásquez, A.; Carrascal-Pérez, F. y Romero, F. (2017). Distribución espacial del riesgo potencial de marchitamiento del aguacate causado por Phytophthora cinnamomi en la subregión

de Montes de María, Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 11(2), 273-285.

Pegg, K.; Korsten, L. y Harding, R. (2002). Foliar and soilborne diseases. En S. Whiley y B. Wolstenholme (ed.), Avocado: botany, production and uses (pp. 299-338). Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing.

Peres, N.; Timmer, L.; Adaskaveg, J. y Correll, J. (2005). Lifestyles of Colletotrichum acutatum. Plant Dis, 89(8), 784-796. doi:10.1094/PD-89-0784

Pérez-Jiménez, R. (2008). Significant avocado diseases caused by fungi and oomycetes. Eur J Plant Sci Biotechnol, 2(1), 1-24.

Phoulivong, S. (2011). Colletotrichum, naming, control, resistance, biocontrol of weeds and current challenges. Current Research in Environmental & Applied Mycology, 1(1), 53-73.

Ploetz, R. (2013). Phytophthora root rot of avocado. En K. Lamour (ed.), Phytophthora: a global perspective (pp. 197-204). Cambridge, United States of America: CABI.

Prusky, D.; Alkan, N.; Mengiste, T. y Fluhr, R. (2013). Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. Annu Rev Phytopathol, 51, 155-176. doi:10.1146/annurev-phyto-082712-102349

Ramírez-Gil, J. (2018). Avocado wilt complex disease, implications and management in Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 71(2), 8525-8541. doi:http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v71n2.66465

Ramírez-Gil, J. y Morales-Osorio, J. (2013). Primer informe de Cylindrocarpon destructans (Zinss) Scholten afectando plántulas de aguacate (Persea americana Mill) en Colombia. Revista de Protección Vegetal, 28(1), 27-35.

Ramírez-Gil, J.; Castañeda-Sánchez, D. y Morales-Osorio, J. (2014). Estudios etiológicos de la marchitez del aguacate en Antioquia-Colombia. Revista Ceres, 61(1), 50-61.

Ramírez-Gil, J. y Morales-Osorio, J. (2019). Polyphasic identification of preharvest pathologies and disorders in avocado cv. Hass. Agronomía Colombiana, 37(3), 213-227.

Ramírez-Gil, J. y Morales-Osorio, J. (2020). Development and validation of severity scales of avocado wilt complex caused by Phytophthora cinnamomi, Verticillium dahliae and hypoxiaanoxia disorder and their physiological responses in avocado plants. Agronomía Colombiana, 38(1), 12-27.

Ramírez-Gil, J.; Castañeda-Sánchez, D. y Morales-Osorio, J. (2017a). Production of avocado trees infected with Phytophthora cinnamomi under different management regimes. Plant pathology, 66(4), 623-632.

Ramírez-Gil, J.; Ramelli, E. y Morales-Osorio, J. (2017b). Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. Crop Protection, 101, 103-115. doi:https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.023

Ramírez-Gil, J.; Sánchez, D. y Osorio, J. (2014). Estudios etiológicos de la marchitez del aguacate en Antioquia-Colombia. Revista Ceres, 61(1), 50-61.

Salgadoe, A.; Robson, A.; Lamb, D.; Dann, E. y Searle, C. (2018). Quantifying the severity of phytophthora root rot disease in avocado trees using image analysis. Remote Sensing, 10(2), 226.

Sharma, G.; Maymon, M. y Freeman, S. (2017). Epidemiology, pathology, and identification of Colletotrichum including a novel species associated with avocado (Persea americana) anthracnose in Israel. Scientific Reports, 7(1), 15839. doi:10.1038/s41598-017-15946-w

Siddiqui, Y. y Ali, A. (2014). Colletotrichum gloeosporioides (Anthracnose). En Bautista-Baños S (ed.), Postharvest Decay (pp. 337-371). United States of America: Elsevier Academic Press.

Tamayo, P. (2014). Enfermedades y desórdenes abióticos. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate (pp. 286-313). Medellín, Colombia: Oficina Asesora de Comunicaciones, Identidad y Relaciones Corporativas de Corpoica.

Tamayo-Molano, P. (2007). Enfermedades del aguacate. Revista politécnica, 3(4), 51-70.

Tucker, M. (1929). Report of the plant pathologist. Porto Rico Agriculture Experi-

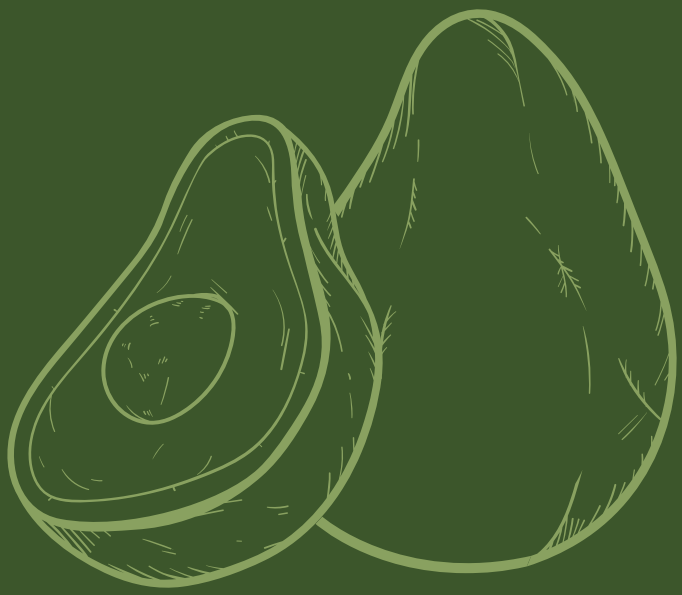
mental Station 1928, 29-35.

Vitale, A.; Aiello, D.; Guarnaccia, V.; Perrone, G.; Stea, G. y Polizzi, G. (2012). First report of root rot caused by Ilyonectria (= Neonectria) macrodidyma on avocado (Persea americana) in Italy. J Journal of Phytopathology, 160(3), 156-159.

Zea-Bonilla, T.; Martín-Sánchez, P.; González-Sánchez, M. y Pérez-Jiménez, R. (2011). Neofusicoccum parvum y Phytium vexans: nuevos patógenos del aguacate descritos en Andalucía. En: VII Congreso Mundial del Aguacate, Cairns, pp. 1-5.

Zentmyer, G. (1984). Avocado diseases. J International Journal of Pest Management, 30(4), 388-400.

Resultado
Proyecto



GOBERNACIÓN DEL TOLIMA

el Tolima nos une

Universidad del Tolima

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Biocultivos®
Agricultura sostenible

SGR
Sistema General de Regalías