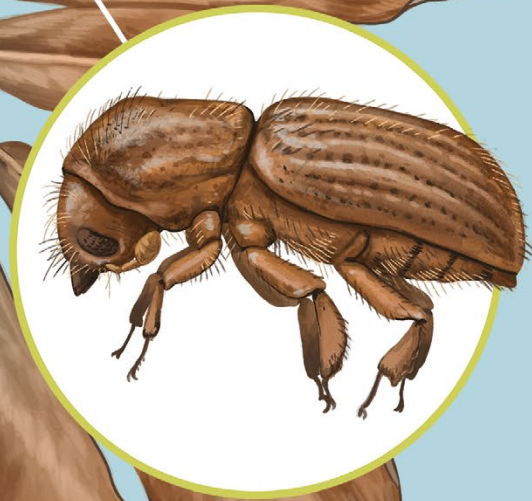
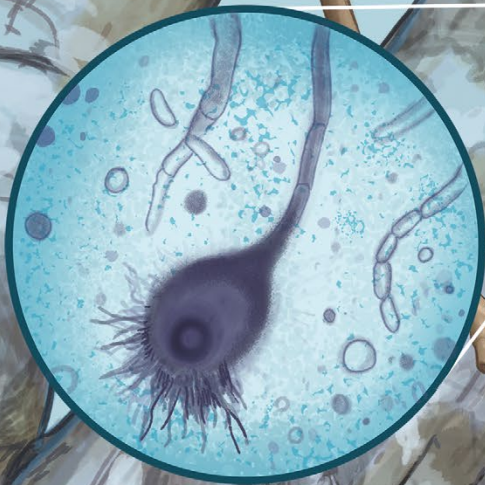


Reconocimiento, manejo y
resultado de la investigación
en marchitez vascular por

Ceratocystis (*Ceratocystis cacaofunesta*) en cacao



AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria


Agricultura



Gobernación
del Huila



UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA



Reconocimiento, manejo y
resultado de la investigación
en marchitez vascular por

Ceratocystis

(*Ceratocystis cacaofunesta*)

en cacao

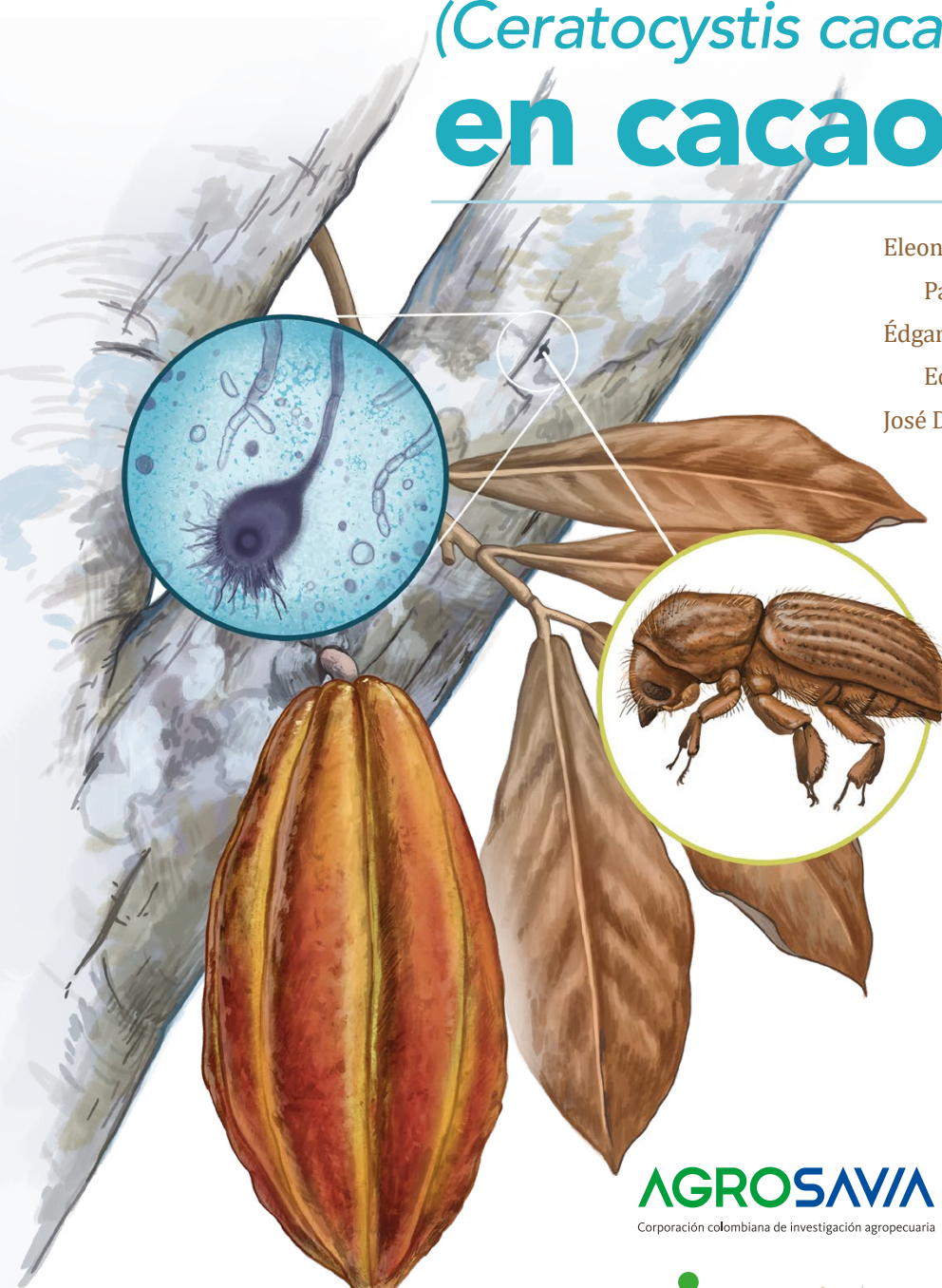
Eleonora **Rodríguez-Polanco**

Paula Andrea **Bermeo-Fuquen**

Édgar Mauricio **Rico-Sierra**

Edinson Bayardo **Parra-Alferes**

José Dimas **Segura-Amaya**



AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria


Agricultura



Gobernación
del Huila

 UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA



Reconocimiento, manejo y resultado de la investigación en marchitez vascular por *Ceratocystis* (*Ceratocystis cacaofunesta*) en cacao. / Eleonora Rodríguez Polanco [y otros cuatro] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2025.

52 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye gráficos y tablas.

ISBN e-Book: 978-958-740-824-9

1. *Theobroma cacao* 2. *Ceratocystis* 3. Marchitez 4. Enfermedad fungosa 5. Gestión de lucha integrada
6. Resistencia genética. I. Rodríguez Polanco, Eleonora II. Bermeo Fúquene, Paula Andrea III. Rico Sierra, Édgar Mauricio IV. Parra Alferes, Edinson Bayardo V. Segura Amaya, José Dimas.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA

Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9, vía Espinal-Chicoral, Tolima. Código postal 733520, Colombia.

Esta publicación se deriva del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías de manejo integrado del cultivo y agroindustria para incrementar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao en Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras en el Huila”, BPIN 2021000100166, Convenio SGR-2096.

Colección: **Alianzas AGROSAVIA**
Tipología: Cartilla

Fecha de recepción: 11/08/25
Fecha de evaluación: 03/09/25
Fecha de aceptación: 22/09/25

Publicado: diciembre de 2025
Preparación editorial:
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Nathalie De la Cuadra N.
Adecuación pedagógica: Andrea Montoya
Corrección de estilo: Andrés Castillo Brieve
Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado
Diseño de pauta: Janduy Barreto Páez
Diagramación: María Paula Berón

Citación sugerida:

Rodríguez-Polanco, E., Bermeo-Fúquene, P. A., Rico-Sierra, E. M., Parra-Alferes, E. B., & Segura-Amaya, J. D. (2025). *Reconocimiento, manejo y resultado de la investigación en marchitez vascular por *Ceratocystis cacaofunesta* en cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7408249>

Cláusula de responsabilidad:

AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogida en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Línea de atención al cliente: (+57) 601 914 4677
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Tabla de contenido

Agradecimientos	6
Los autores	7
Presentación	9
Glosario	10
Introducción	13
Capítulo I	
La marchitez por <i>Ceratocystis</i> o mal del machete en cacao	15
Agente causal	16
Taxonomía	16
Ciclo de la enfermedad	18
Síntomas de la enfermedad	22
Diseminación de la enfermedad	23
Manejo integrado de la marchitez vascular en cacao	25
Capítulo II	
Avances en el conocimiento de la marchitez por <i>C. cacaofunesta</i> en cacao	31
Riesgos, detección y necesidades de investigación	32
Montaje de la colección de trabajo de <i>Ceratocystis</i>	32
Aislamiento del hongo <i>C. cacaofunesta</i>	32
Caracterización morfológica de <i>C. cacaofunesta</i>	34
Resultados	35
Identificación molecular de especies de <i>Ceratocystis</i>	39
Estandarización de un método de infección en plantas en vivero	42
Detección del grado de resistencia genética en clones de cacao	44
Recomendaciones	47
Referencias	48

Lista de figuras

Figura 1	Estructuras reproductivas de <i>Ceratocystis cacaofunesta</i> y síntomas de la MC en el dosel del árbol	16
Figura 2	Estructuras reproductivas y vegetativas del hongo <i>Ceratocystis cacaofunesta</i> en fotografías de microscopio a 40x	17
Figura 3	Ciclo de la enfermedad de la MC causada por <i>C. cacaofunesta</i> y su interacción con <i>Xyleborus</i> sp.	19
Figura 4	Mecanismos de infección del hongo <i>C. cacaofunesta</i> , causante de la marchitez vascular en cacao	20
Figura 5	Síntomas de clorosis y marchitez inicial en plantas atacadas por <i>C. cacaofunesta</i> .	21
Figura 6	Síntomas de la MC o mal del machete en ramas, follaje y corteza	22
Figura 7	El vector de la MC	24
Figura 8	Desinfección de herramientas empleadas en las labores del cultivo en cacao	26
Figura 9	Eliminación de árbol enfermo por <i>C. cacaofunesta</i> , con síntomas de clorosis y marchitez generalizada	27
Figura 10	Trampa de alcohol para control de <i>Xyleborus</i> sp.	28
Figura 11	Aislamiento y obtención de cultivo puro de <i>Ceratocystis</i> spp. con trampas tipo sándwich y fruto de cacao	33
Figura 12	Crecimiento del hongo <i>C. cacaofunesta</i> en diferentes medios de cultivo.	35
Figura 13	Características micrométricas para diferentes aislamientos de <i>C. cacaofunesta</i> provenientes de fincas productoras de cacao en diferentes departamentos del país (las barras de error representan el error estándar)	36
Figura 14	Evaluación del crecimiento de cepas de <i>Ceratocystis</i> en PDA provenientes de diferentes zonas del país	37

Figura 15	Inferencia filogenética por el método de máxima verosimilitud y el análisis de Tamura-Nei para representar las especies de <i>Ceratocystis</i>	41
Figura 16	Método de inoculación artificial de <i>C. cacaofunesta</i> en plantas-injerto del clon IMC 67	43
Figura 17	Inoculación artificial con <i>C. cacaofunesta</i> en clones de cacao, para detectar resistencia genética	45
Figura 18	Grupos de clones de cacao obtenidos por análisis multivariado de conglomerados con la distancia euclidiana y el método de agrupación de mínima varianza de Ward	46

Lista de tablas

Tabla 1.	Evaluación del diámetro de crecimiento de la colonia (pcc) de cepas de <i>Ceratocystis</i> en diferentes rangos de pH (5, 7 y 9) en agar extracto de malta (AEM), provenientes de diferentes zonas del país (evaluado entre los días 3 y 12)	38
Tabla 2.	Cebadores usados para secuencias de las regiones EF, BT y MS	39
Tabla 3.	Detalles de los aislamientos de <i>Ceratocystis</i> utilizados, incluidos los códigos de acceso de GenBank de las secuencias generadas en el estudio	40
Tabla 4.	Medias y errores estándar del aislamiento, concentración de inóculo y profundidad de la herida para las plantas muertas del clon IMC 67 (%) infectadas artificialmente con <i>Ceratocystis</i>	44



Agradecimientos

6

Los autores expresan un especial agradecimiento a la Gobernación del Huila, que a través del sistema general de regalías del departamento financió la ejecución del proyecto de investigación “Desarrollo y validación de tecnologías de manejo integrado del cultivo y agroindustria para incrementar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao en Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras en el Huila”, BPIN 2021000100166, Convenio SGR-2096, a partir del cual se materializó la publicación de esta cartilla.

Agradecimientos al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), convenios TV 15 y TV 16, y al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), proyecto “Programa para la generación de conocimiento y estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades de importancia económica para el cultivo de cacao en Colombia”, por la financiación de las investigaciones que dieron origen a los datos publicados en esta cartilla.

Los autores



Eleonora Rodríguez Polanco

Correo: lrodriguezp@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8553-2449>

Ingeniera agrónoma de la Universidad del Tolima, magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y PhD en Fitopatología de la Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Tiene veinte años de experiencia en el manejo integrado de enfermedades en cultivos, principalmente en cacao, y en frutales como mango, aguacate, cítricos, pasifloras y plátano. Está enfocada en el desarrollo de programas de manejo integrado de enfermedades foliares y radicales limitantes en cultivos de clima cálido y medio; parte del conocimiento de la etiología y biología del patógeno, la comprensión de procesos de infección, mecanismos de defensa activados por la planta y aplicación de diferentes estrategias de manejo de enfermedades. En la actualidad, es investigadora PhD asociada del Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Paula Andrea Bermeo Fúquene

Correo: pbermeo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6795-8921>

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia y máster en Agronomía de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Brasil. Tiene más de cuatro años de experiencia en microorganismos asociados con enfermedades y biocontrol en cultivos de frutales (asaí, cítricos, mango, plátano, pasifloras), de interés industrial (cacao) y de especies transitorias (arroz, forrajes y sorgo). Su interés se enfoca en el uso de estrategias de diagnóstico molecular para la detección de enfermedades en plantas. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



Édgar Mauricio Rico Sierra

Correo: emrico@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4291-7119>

Biólogo de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Biología Computacional de la Universidad de los Andes. Tiene siete años de experiencia en el estudio de interacciones planta-patógeno, identificación de genes de resistencia en plantas, identificación molecular de insectos, hongos, virus y bacterias fitopatógenas, análisis genómicos, transcriptómicos y metagenómicos, ensamblaje de genomas y filogenia de virus. Adelanta procesos de investigación en el área de fitopatología molecular, ejecutando proyectos de investigación científica que permitan la generación de soluciones a problemas fitopatológicos apoyados en el conocimiento científico. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Edinson Bayardo Parra Alferes

Correo: ebayardo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2494-0120>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Pamplona. Cuenta con 12 años de experiencia en investigación, identificación, diagnóstico y control de enfermedades mediante esquemas de manejo integrado (control cultural, químico, biológico y genético) y manejo agronómico de sistemas productivos perennes (cacao) y frutales (guayaba, aguacate, marañón, pasifloras y cítricos), así como en el área de agroforestería. En la actualidad, es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en las líneas de fitopatología, mejoramiento genético y manejo agronómico.

José Dimas Segura Amaya

Correo: jsegura@agrosavia.co

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5877-8497>

Tecnólogo en Producción Agrícola y candidato a Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional Abierta y a distancia (UNAD). Cuenta con más de 25 años de experiencia en apoyo a la investigación en diagnóstico y control de enfermedades en sistemas productivos perennes (cacao) y frutales (mango, aguacate, pasifloras y cítricos). En la actualidad, es asistente de investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en las líneas de fitopatología, control biológico, mejoramiento genético y manejo agronómico.

Presentación



La **marchitez del cacao (MC)** causada por el **hongo *Ceratocystis cacaofunesta*** es una **enfermedad reemergente** en Colombia. Su nueva aparición está ligada al **aumento de la temperatura**, factor que favorece la reproducción de *Xyleborus* sp., un insecto coleóptero y el principal agente transmisor del hongo.

A pesar de que los niveles de incidencia de la MC se mantienen bajos a nivel nacional (inferiores al 1 %), su incremento exige una atención inmediata. Esto se observa en algunas zonas productoras importantes, como el departamento de **Santander**, donde se reportó una incidencia del 15 % en cultivos comerciales de cacao durante 2015. La aparición y crecimiento de la MC en Santander es especialmente preocupante, ya que esta región **concentra el 41 % de la producción nacional** de grano de cacao.

Históricamente, los **altos niveles de incidencia** o daño causados por las enfermedades que **atacan el fruto** han concentrado el enfoque de la investigación, y esto ha relegado el estudio de patologías del sistema **radical y vascular** como la MC. No obstante, enfermedades como esta se consideran **igual o más devastadoras**. Por ello, es imprescindible profundizar en su conocimiento, abordando aspectos críticos relacionados con su **etiología, biología y epidemiología**. Este conocimiento es fundamental para diseñar **estrategias de control efectivas** que permitan un **manejo integrado** de la enfermedad y **contengan su dispersión**.

En este contexto y dada la necesidad de conocimiento técnico especializado, se pone a disposición del gremio cacaotero la publicación *Reconocimiento, manejo y resultado de la investigación en marchitez vascular por *Ceratocystis cacaofunesta* en cacao*. Esta cartilla se concibe como una **herramienta de consulta y difusión** esencial para el entendimiento de la **dinámica y manejo de la MC**. Con su publicación, buscamos contribuir significativamente **al mejoramiento del nivel tecnológico** de este cultivo en Colombia.



Glosario

Antes de sumergirse en los detalles del manejo de la MC, lo invitamos a consultar el presente glosario, una herramienta aliada para conocer el vocabulario especializado y garantizar que la información técnica sea clara (Gasparotto et al., 2023).

Agente causal: agente de origen biótico o abiótico que ocasiona la enfermedad.

Aislamiento: separación de un patógeno de su hospedante y su cultivo en un medio nutritivo.

Ascocarpo: cuerpo fructífero que contiene las ascas.

Ciclo de la enfermedad: comprende todas las fases involucradas en el desarrollo de la enfermedad. Abarca las etapas de desarrollo del patógeno y el efecto de la enfermedad sobre el hospedante.

Colonización: expresión de la fase parasítica del patógeno, representada por la extracción de nutrientes del tejido del hospedero, necesarios para su crecimiento y reproducción.

Control: acciones para prevenir, retardar o erradicar la población de un patógeno o para reducir su efecto a un nivel económicamente aceptable.

Dispersión: movimiento o transporte de un patógeno o propágulo desde el lugar donde se formó hasta su ubicación final en un sitio de infección.

Enfermedad: alteración de la función normal de una planta, expresada en una serie de procesos fisiológicos nocivos causados por la irritación continua del vegetal debido a un agente primario.

Hospedante o huésped: en fitopatología, organismo vegetal infectado por un patógeno (bacteria, virus, hongo o *Mollicutes*).



Infeción: presencia y multiplicación del microorganismo en los tejidos del huésped (hospedero).

Inóculo: patógeno o partes de él que ocasionan enfermedad.

Marchitamiento: pérdida de turgencia de la parte aérea de una planta. Puede deberse a podredumbres radiculares, necrosis de los haces vasculares o déficit hídrico.

Mutualismo: asociación entre dos organismos con beneficio mutuo.

Necrosis: muerte de células de un tejido.

Patógeno: entidad que produce enfermedad.

Patogenicidad: capacidad relativa de un patógeno para producir enfermedad.

Peritecio: ascocarpo en forma de botella o globular que presenta una abertura o poro.

Signo: patógeno, sus partes o sus productos visibles sobre una planta hospedante.

Simbiosis: interacción biológica estrecha y de larga duración entre organismos de diferentes especies.

Síntoma: conjunto de alteraciones bioquímicas, fisiológicas, citológicas, histológicas o morfológicas que experimenta una planta debido a una enfermedad ocasionada por un agente causal de origen biótico o abiótico.

Susceptible: que carece de capacidad para resistir enfermedades o el ataque de un patógeno específico.

Toxina: sustancia orgánica que, en bajas concentraciones, produce efectos deletéreos e irreversibles en procesos normales de un organismo vivo. Se aplica, por lo general, a sustancias producidas por organismos y que resultan tóxicas para otros seres vivos.

Vascular: tejido vegetal o zona conformada por tejidos conductores; también se refiere a un patógeno que se desarrolla principalmente en los tejidos conductores de la planta.

Vector: organismo que transporta y transmite un patógeno; se aplica especialmente a insectos y nematodos capaces de transmitir virus.



Introducción



El **cultivo de cacao en Colombia** representa la principal **f fuente de sustento** para más de 65.000 familias cacaoteras, distribuidas en 422 municipios de 27 departamentos del país (Sistema de Información de la Cadena de Cacao [SIOC], 2021).

El cacao colombiano es **reconocido internacionalmente** por su **sabor único y características aromáticas**, cualidades que lo ubican dentro del grupo de **cacaos especiales**. Actualmente, Colombia ocupa el décimo lugar en producción mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2025; Rodríguez-Polanco et al., 2024).

Sin embargo, el cultivo del cacao **enfrenta graves afectaciones** debido a la presencia de **enfermedades de fruto**, con pérdidas que pueden alcanzar hasta el 40 % de la producción total (García Cabrera et al., 2016).

El cultivo también puede ser atacado por **enfermedades** altamente destructivas, como las que afectan el **sistema radicular y vascular**, incluida la marchitez o mal del machete, producidas por el hongo *Ceratocystis cacaofunesta*, que causa graves pérdidas al originar la muerte del árbol.

La marchitez del cacao se registró por primera vez en Colombia en el departamento del **Huila en 1940**. En la década del cincuenta se presentó la primera epidemia del complejo *C. cacaofunesta*-*Xyleborus* sp. en plantaciones de cacao en **Cauca y Valle del Cauca**. Murieron más del 50 % de los árboles, causando una grave pérdida, ya que estos dos departamentos concentraban el 75 % de la **producción nacional del grano** (García, 1997). Esta situación redujo la importante tradición del cultivo de cacao en esta zona del país, al situarla por debajo de cultivos como la caña de azúcar y el café.

El complejo *Ceratocystis-Xyleborus* es altamente sensible al entorno donde habita. Los cambios de temperatura y precipitación, originados por el **cambio climático**, afectan positivamente la población del insecto *Xyleborus* y el desarrollo del hongo. Esta alteración climática aumenta la incidencia y severidad de la MC en cacao (Angelotti et al., 2024; Lahlali et al., 2024).

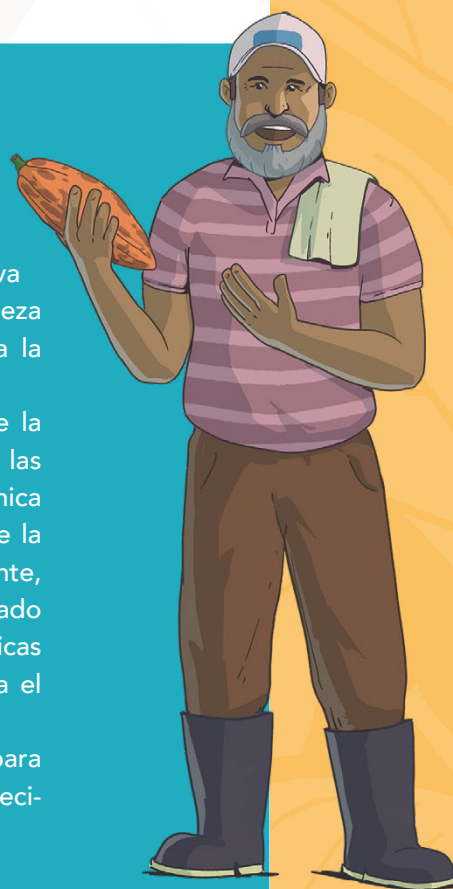
La investigación es imperativa. Se requiere **profundizar en el conocimiento** del complejo *Ceratocystis-Xyleborus*, en aspectos relacionados con su **biología, ecología, epidemiología e interacción**, para esclarecer estrategias de manejo integradas que permitan contener el aumento de la enfermedad en el país.

La marchitez por *Ceratocystis* o mal del machete en cacao

Este capítulo se dedica a la comprensión profunda de la mc, una enfermedad vascular y radical que representa una seria amenaza para los cacaotales. Comenzaremos por detallar la biología reproductiva del hongo *C. cacaofunesta*, incluyendo su naturaleza necrótropa y el mecanismo patogénico que causa la muerte del árbol.

Posteriormente, se presentan los síntomas de la marchitez en follaje y tejido vascular, y se analizan las vías de diseminación, incluidas la transmisión mecánica por herramientas y el papel de los escarabajos de la ambrosía (*Xyleborus* sp.) como vectores. Finalmente, se concluye con las estrategias de manejo integrado más efectivas, que abarcan desde las buenas prácticas agrícolas y el uso de materiales resistentes, hasta el control biológico y químico del vector.

Lo invitamos a recorrer esta información clave para fortalecer sus conocimientos y tomar las mejores decisiones en el manejo de su cultivo.



Agente causal

La **enfermedad** fue registrada por primera vez en el occidente de Ecuador alrededor del año 1918. Inicialmente, se identificó como **agente causal** al hongo *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. Posteriormente, este fue reclasificado como *Ceratocystis cacaofunesta* Engelbr. & T. C. Harr., y es la especie que afecta al cultivo de cacao (Baker Engelbrecht et al., 2005).

Esta especie ha sido vinculada con una **alta mortalidad de árboles** en plantaciones comerciales de cacao en diversas regiones de América Central y Suramérica (figura 1) (Engelbrecht et al., 2007).

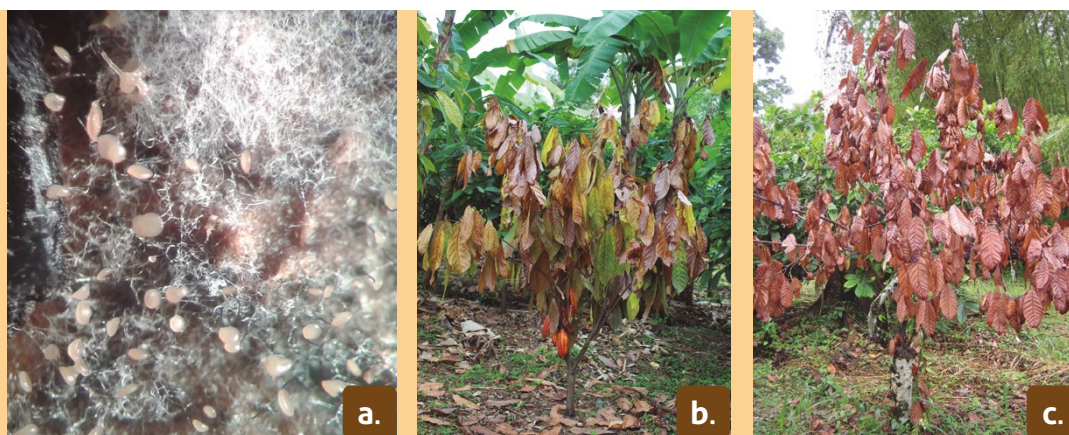


Figura 1. Estructuras reproductivas de *Ceratocystis cacaofunesta* y síntomas de la mc en el dosel del árbol. **a.** Peritecios y masa de ascosporas (estructuras reproductivas sexuales) en trampas con frutos de cacao; **b.** Síntoma de clorosis: marchitamiento; **c.** Necrosis total del dosel y hojas adheridas al árbol.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco (1a y 1c), Paula Andrea Bermeo-Fúquene (1b)

Taxonomía

La **marchitez vascular en cacao** es causada por el hongo *Ceratocystis cacaofunesta* Engel. & Harring.



- **Dominio:** Eukaryota
- **Reino:** Fungi
- **División:** Ascomycota
- **Clase:** Sordariomycetes
- **Orden:** Microascales
- **Familia:** Ceratocystidaceae (adaptada para la dispersión por insectos)
- **Género:** *Ceratocystis*
- **Especie:** *C. cacaofunesta* (De Beer et al., 2014)

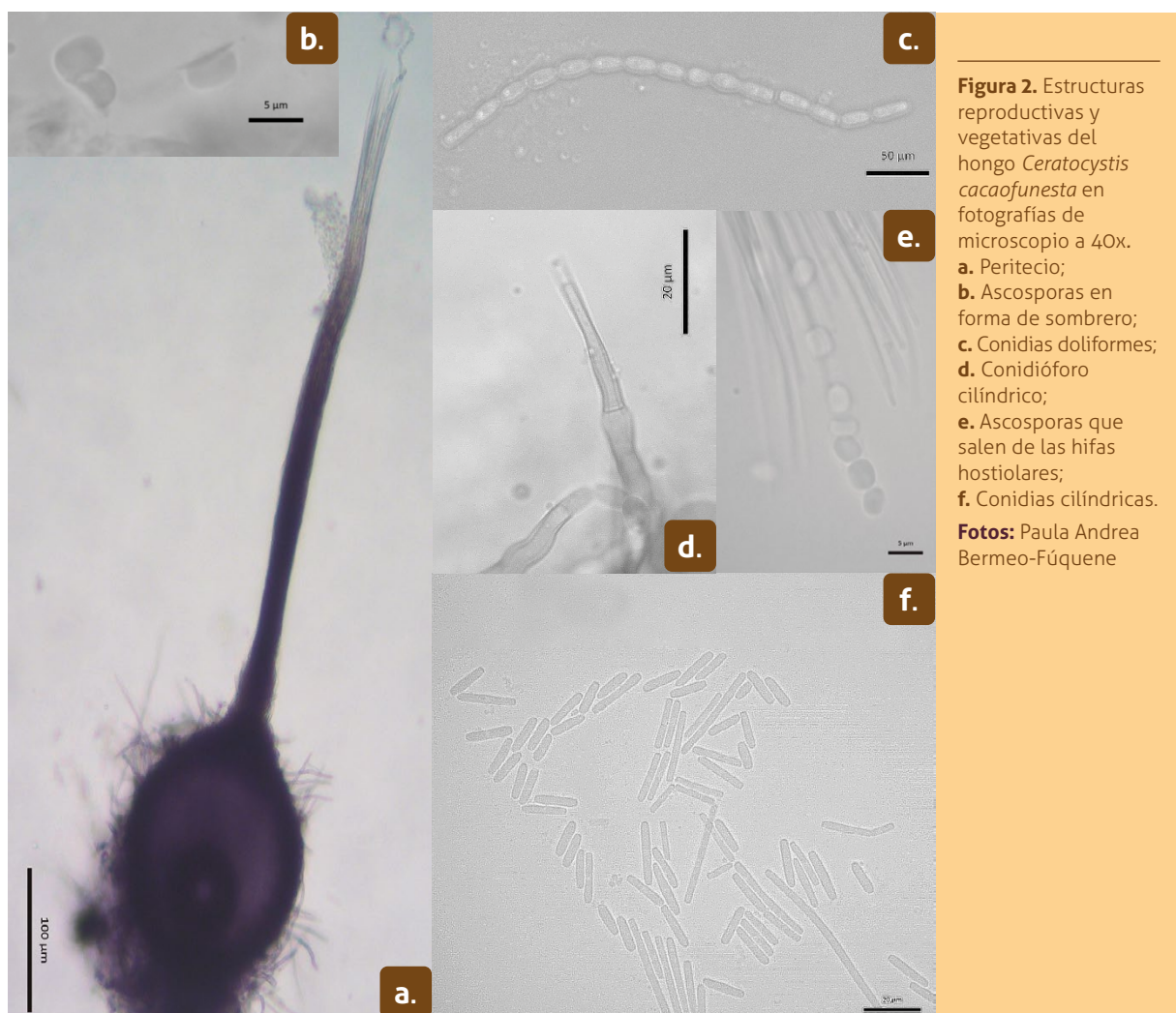
La especie *C. cacaofunesta* se reproduce de **forma asexual (o vegetativa) y sexual**. Al tener estas dos formas de reproducción, el hongo presenta múltiples estructuras reproductivas (figura 2).

Fase asexual

El hongo produce **conidias** (estructuras de reproducción asexual) que se forman en los **conidióforos** (figura 2d). Las conidias de *C. cacaofunesta* pueden variar, pero las **cilíndricas** son las más comunes (figura 2f).

Fase sexual

Se forman estructuras llamadas **peritecios o ascocarpos** (figura 2a), que corresponden a las estructuras de reproducción sexual. Se ubican de manera parcial en la superficie o completamente inmersas en el tejido vegetal. Son globosas, de color café oscuro a negro, con un diámetro de 130-210 μm . Presentan un cuello muy largo, de 400 a 890 μm , y poseen una base oscura rodeada por una densa red de hifas (De Beer et al., 2014).



En el extremo superior del cuello del peritecio, se encuentra una abertura rodeada por ocho a quince **hifas ostiolares** (figura 2e). Estas hifas son divergentes, de color café claro a hialino (De Beer et al., 2014). En la punta del peritecio aparece además una **estructura pegajosa** formada por una masa de miles de ascosporas, pequeñas estructuras en forma de sombrero que funcionan también como elementos de **diseminación del hongo** (figura 2b y 2e).

Estas esporas se acumulan en un saco pegajoso que puede ser una estrategia de dispersión, ya que se adhieren con facilidad al exoesqueleto de los insectos (Bailey & Meinhardt, 2016).

Ciclo de la enfermedad

El avance de la **infección del hongo** alrededor del tronco es más lento que su progresión longitudinal, y el **proceso desde la infección** hasta la muerte de la planta puede tardar entre ocho y 24 meses. Las **fases del ciclo** comprenden infección, colonización y crecimiento (momento en el cual se observan los síntomas), producción y dispersión del hongo (figura 3) (Baker Engelbrecht et al., 2005).

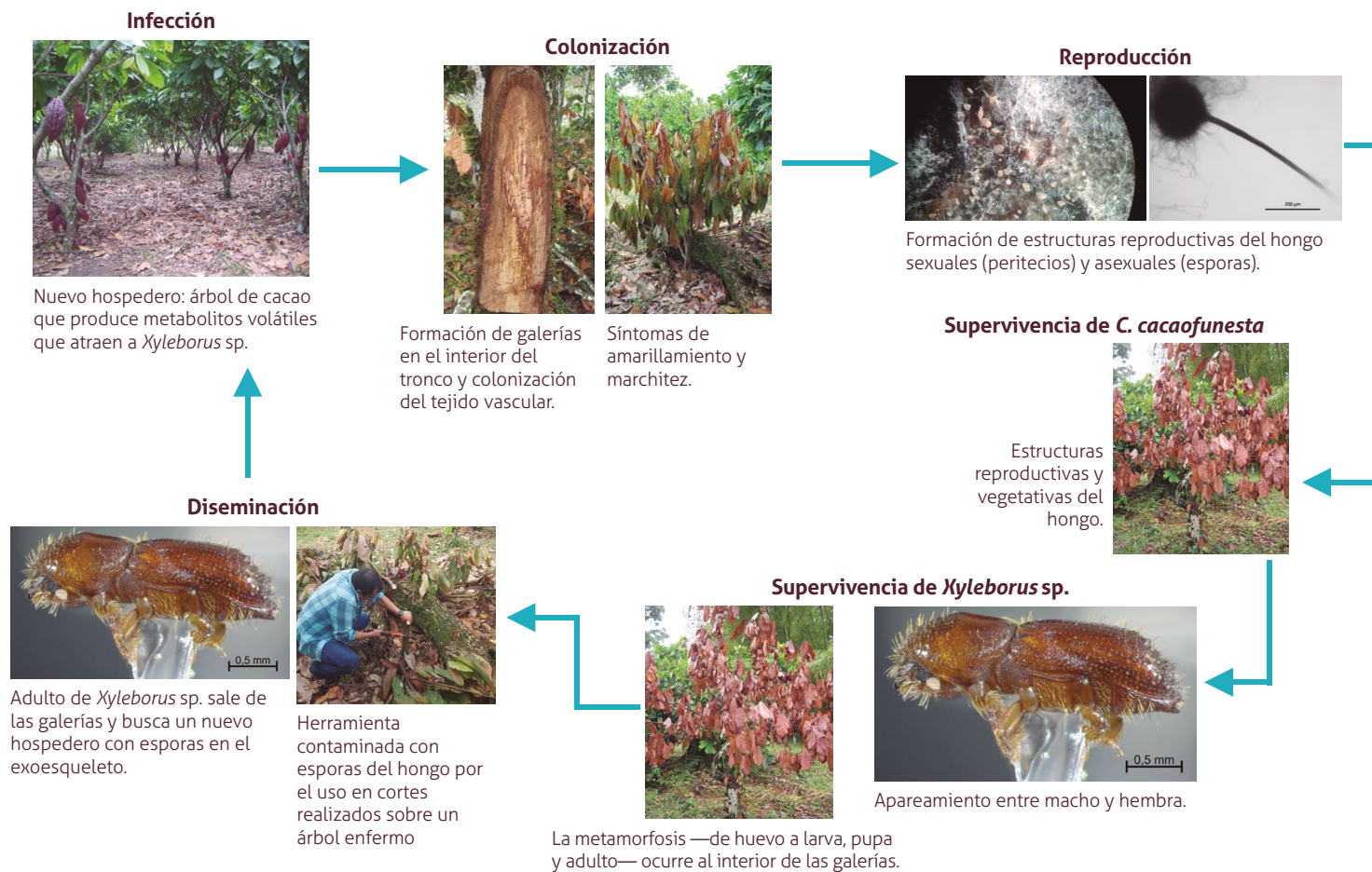


Figura 3. Ciclo de la enfermedad de la mc causada por *C. cacaofunesta* y su interacción con *Xyleborus* sp.

Fuente: Elaboración propia con base en Paladines-Rezabala et al. (2022)

Fotos: Paula Andrea Bermeo Fúquene, José Mauricio Montes Rodríguez, Edinson Bayardo Parra Alferes y Eleonora Rodríguez Polanco.

Infección

La infección comienza con la **entrada del hongo a la planta**, que ocurre principalmente a través de heridas ocasionadas por herramienta o por causas naturales como insectos vectores y algunos diseminadores como hormigas o moscas (García Cabrera et al., 2016).

La **infección causada por herramientas** ocurre durante prácticas de cultivo como poda, cosecha o plateo. La herramienta contaminada, al pasar de una planta enferma a una sana, **facilita la diseminación del hongo** (Baker Engelbrecht et al., 2005). El empleo del machete en numerosas prácticas originó el nombre de esta enfermedad, “mal del machete”, con el que se conoce popularmente en Colombia.

El hongo **infecta de forma natural las plantas de cacao** con la ayuda de **insectos vectores** como los escarabajos *Xyleborus*, que tienen una relación simbiótica con *C. cacaofunesta*. Se ha demostrado que este escarabajo perfora galerías en la madera del tronco de cacao, donde cultiva el hongo que emplea como su principal fuente de alimento (Rodríguez-Becerra et al., 2024).

Los compuestos volátiles producidos por el hongo emiten olores frutales que atraen al vector y otros insectos, y así contribuyen a la dispersión del hongo (figura 4) (Baker Engelbrecht et al., 2005).



Figura 4. Mecanismos de infección del hongo *C. cacaofunesta*, causante de la marchitez vascular en cacao. **a.** Herramientas empleadas en labores culturales; **b.** Adulto del coleóptero vector del hongo *Xyleborus ferrugineus*; **c.** Aserrín con residuos y excrementos de *Xyleborus* sp.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco (3a, 3c); José Mauricio Montes Rodríguez (3b)

También los residuos y excrementos producidos por los escarabajos *Xyleborus* al perforar la madera contienen **conidias del hongo**, que se dispersan por la acción del viento o la lluvia e infectan árboles cercanos con heridas (figura 3) (Delgado & Suárez, 2003). El hongo **ataca principalmente los vasos conductores** (xilema) del tronco principal de la planta, pero es capaz de infectar **raíces y frutos** (Baker Engelbrecht et al., 2005).

Colonización y crecimiento del hongo

Una vez que *C. cacaofunesta* ingresa al árbol, **coloniza el xilema secundario** y se desplaza progresivamente hacia la parte superior de la planta (Baker Engelbrecht et al., 2005), provocando síntomas como **clorosis y marchitez en las hojas** (figura 5).

Es importante señalar que este hongo **no forma estructuras especiales de acople** para la penetración. En consecuencia, **requiere de una herida o apertura** como vía de entrada para ingresar a la planta.

La capacidad de colonización y desarrollo del hongo dentro de la planta depende de varios factores, con el **genotipo del cacao** como uno de los más importantes. Se ha demostrado que el **clon CCN51** es particularmente **susceptible** a la marchitez vascular, ya que permite la formación de numerosas estructuras reproductivas del hongo dentro de sus tejidos (De Oliveira et al., 2009).



Figura 5. Síntomas de clorosis y marchitez inicial en plantas atacadas por *C. cacaofunesta*.

Foto: Eleonora Rodríguez Polanco

Ceratocystis es clasificado como un **hongo necrótrofo**, lo cual significa que se alimenta de células muertas. Inicialmente produce la **muerte de la célula vegetal** para luego consumir sus nutrientes. Generalmente, los hongos necrótrofos producen **compuestos tóxicos** para las plantas, conocidos como *fitotoxinas* (García Cabrera et al., 2016).

Este mecanismo es parte esencial de su **ciclo de vida**, ya que le permite avanzar rápidamente dentro del tejido vegetal y provoca el marchitamiento progresivo de la planta de cacao.

Síntomas de la enfermedad

Los primeros **síntomas** aparecen con el **amarillamiento de las hojas**, que posteriormente adquieren una coloración marrón (figura 6).



Figura 6. Síntomas de la mc o mal del machete en ramas, follaje y corteza. **a.** Clorosis y necrosis (marchitamiento inicial) en hojas y ramas; **b.** Marchitamiento total del dosel; **c.** Necrosis total del dosel y hojas adheridas a las ramas; **d.** Necrosis café en la médula del tallo y galerías causadas por *Xyleborus* sp. (círculo rojo); **e.** Necrosis café en la médula del tallo y ramas primarias; **f.** Necrosis radial en corte transversal del tallo; **g.** Aserrín en la base del tronco principal.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco (6b, 6c, 6d, 6e, 6f, 6g); Paula Andrea Bermeo-Fúquene (6a)

Síntomas en follaje y ramas

El **síntoma clásico** se manifiesta en **hojas colgantes, secas y marchitas** que **permanecen en la planta** incluso después de su muerte (figuras 6a y 6b). Entre dos y cuatro semanas después de la colonización, el follaje se marchita por completo y las hojas permanecen adheridas incluso tras la muerte del árbol (figura 6c) (García Cabrera et al., 2016).

Síntomas en el tronco

En el tronco los primeros síntomas se manifiestan con un marchitamiento acompañado de **estrías de coloración rojiza** que luego avanzan a **marrón o negro**, exactamente en el área vascular o xilema (figura 6d) (García Cabrera et al., 2016).

C. cacaofunesta es un patógeno típico del xilema. Uno de sus síntomas característicos son las **estrías radiales oscuras** visibles cuando se practican cortes transversales de órganos leñosos (figura 6f). En cortes longitudinales, se observa un **oscurecimiento del tejido**, con manchas de color marrón oscuro, negro o azul violáceo (figura 6e) (Engelbrecht et al., 2007).

Adicionalmente, en el tronco o las ramas es común observar **pequeños orificios**, donde **ingresa el insecto** y **se acumula aserrín** debido a las galerías que el animal realiza en la madera (figura 6g).

Dificultad diagnóstica

Una de las principales dificultades para diagnosticar y manejar el “mal de machete” es que sus síntomas iniciales son **poco visibles** en el cultivo de cacao. Generalmente, cuando el árbol comienza a mostrar síntomas de marchitez, la enfermedad ya se encuentra en un estado avanzado.

Diseminación de la enfermedad

Fuente de inóculo

La **propagación de la enfermedad** en los cultivos se debe a la diseminación del **micelio y conidias** de un árbol enfermo a otro sano. Esto ocurre a través de las lesiones o heridas causadas por **machetes, tijeras podadoras y otras herramientas agrícolas** durante labores culturales como poda, cosecha o control de arvenses con guadaña o machete, entre otras (Bailey & Meinhardt, 2016).

La diseminación de *C. cacaofunesta* en cacao también está relacionada con **insectos vectores** del hongo, que son atraídos por el **olor afrutado** que este último libera. Entre los vectores más comunes están escarabajos de la familia Curculionidae, del género *Xyleborus*. La mezcla de **aserrín y heces** producida por este insecto, presente a la salida de las galerías en un árbol enfermo, es una importante **fuentes de inóculo** del hongo (García Cabrera et al., 2016).

Otros medios de **dispersión natural** del hongo son el **agua de riego o la lluvia**, que arrastran restos vegetales infectados desde las partes altas del árbol hacia las zonas inferiores o el suelo. Asimismo, las salpicaduras de lluvia pueden favorecer el contacto de esporas y micelio con heridas en la planta (Bailey & Meinhardt, 2016).

El hongo también puede ser fácilmente transportado por **partículas de suelo adheridas al calzado** (García Cabrera et al., 2016).

Condiciones favorables

El crecimiento y desarrollo del hongo se presenta en un **rango de temperaturas** de 10 a 45 °C, y las **condiciones óptimas** para su desarrollo se dan entre **18 y 28 °C**. Aunque no se ha determinado con precisión un periodo de incubación en el suelo, se ha registrado una viabilidad del hongo de hasta 105 días (Thorpe et al., 2005). Adicionalmente, **suelos con un mal drenaje** favorecen su presencia.

Características del vector: *Xyleborus* sp.

El género *Xyleborus* es un grupo de **escarabajos de ambrosía** de la subfamilia Scolytinae, dentro de la familia Curculionidae (que incluye a los gorgojos) (figura 7) (Paladines-Rezabala et al., 2022).

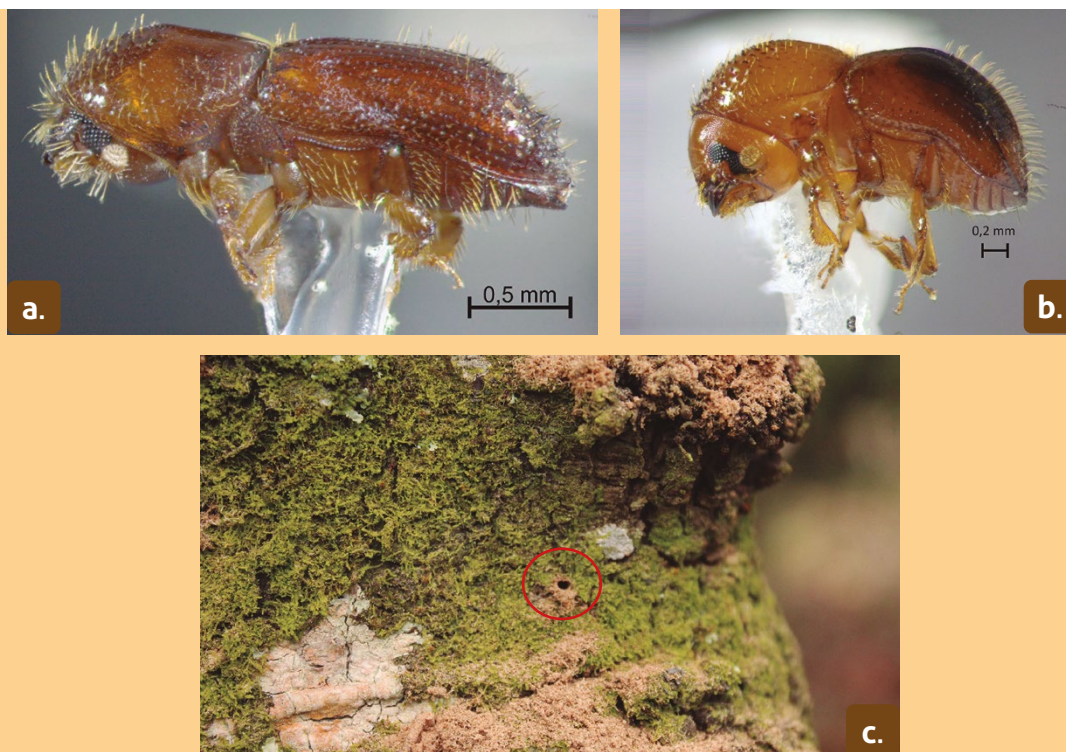


Figura 7. El vector de la mc. **a.** Adulto de *Xyleborus ferrugineus*; **b.** Adulto de *X. morigerus*; **c.** Orificio de penetración de *Xyleborus* sp. (círculo rojo) y aserrín, signo del insecto vector.

Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez (7a, 7b); Eleonora Rodríguez Polanco (7c)

Estos escarabajos son conocidos por sus singulares **relaciones simbióticas con los hongos**, que cultivan en las galerías que perforan en la madera. Esta **asociación mutualista** es una característica definitoria de los **escarabajos de la ambrosía**: los distingue de otros escarabajos de la corteza que se alimentan principalmente del floema de los árboles. El nombre *ambrosía* se refiere a los “jardines” de hongos que estos escarabajos crean y cuidan, y que les sirven como su principal fuente de alimento (Rodríguez-Becerra et al., 2024).

Las dos especies de barrenadores del género *Xyleborus* que atacan las plantas de cacao son *X. ferrugineus*, que afecta **plantas adultas**, y *X. morigerus*, que ataca **plantas jóvenes** (Paladines-Rezabala et al., 2022). *X. ferrugineus* ha sido reconocida como la especie vector de la enfermedad en cacao (Paladines-Rezabala et al., 2022). En el país es necesario realizar más estudios para identificar la especie o las especies de *Xyleborus*, asociadas en su mayoría como vectores de la enfermedad.



Manejo integrado de la marchitez vascular en cacao

Prevención

La **implementación de las buenas prácticas agrícolas** —como selección de material vegetal sano, limpieza y desinfección de herramientas, y manejo de heridas— reduce considerablemente la presencia del hongo en predios de cacao. Además, una de las recomendaciones es la **reducción del daño mecánico** a la planta durante la poda y cosecha. Se sugiere realizar las podas estrictamente necesarias fuera de las épocas de verano para minimizar el daño mecánico y las condiciones favorables para el hongo.

Se recomienda que la **herramienta** sea **desinfectada** con una solución de cualquiera de los siguientes productos: **hipoclorito de sodio** al 5 % (o **alcohol antiséptico**); o fungicidas como benomilo, tiabendazol o carbedazim, en dosis de 4 cc o 1 mL/L de agua (García Cabrera et al., 2016).



La **desinfección** (figura 8) se realiza preferiblemente al cambiar de árbol y al iniciar y finalizar las labores del día. También es importante remover **tejidos enfermos** y **cubrir heridas** del tronco con pasta cicatrizante bien espesa (ICA, 2012), que tenga como ingrediente activo cobre (sulfato de cobre y/o oxiclورو de cobre), junto con un insecticida de amplio espectro (tiacloprid, deltametrina o malatión).



Figura 8. Desinfección de herramientas empleadas en las labores del cultivo en cacao. **a.** De la tijera de mano; **b.** De la navaja de injertación.

Fotos: Paula Andrea Bermeo-Fúquene



Con el fin de reducir al máximo la incidencia del mal de machete en plantaciones de cacao, se recomiendan actividades de monitoreo que incluyan detección de insectos, aserrín o síntomas de la enfermedad, los cuales alertan a tiempo para implementar otras medidas de control.

Control etológico

Al identificar **árboles infectados**, es fundamental eliminarlos por completo (figura 9). Para acelerar la muerte del tejido, se recomienda el **uso de herbicidas sistémicos** en árbol y raíces (ingredientes activos 2,4-D, aminopiraldid, glifosato, entre otros). Una vez que el árbol ha muerto, debe ser extraído e incinerado o enterrado fuera de la plantación.

En el **sitio** donde se encontraba el árbol afectado, se debe **aplicar cal a razón de 2 kg por metro cuadrado**. Adicionalmente, es crucial **asegurar un buen drenaje del suelo** y realizar aplicaciones de **productos a base de cobre** (sulfato de cobre y/o oxiclورو de cobre) en la base de las plantas vecinas al foco de infección, como **medida preventiva** contra la propagación de la enfermedad (Bateman & Crozier, 2023).



Figura 9. Eliminación de árbol enfermo por *C. cacaofunesta*, con síntomas de clorosis y marchitez generalizada.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco (9a); Paula Andrea Bermeo-Fúquene (9b).

Control genético

El uso de **materiales con resistencia comprobada a la enfermedad** es la alternativa más efectiva para mitigar el ataque, debido a su **estabilidad a largo plazo y menor impacto ambiental** (Dalva et al., 2004). En Colombia, los clones **ICS 6, TSA 654 e ICS 95** son los materiales que han mostrado mayor tolerancia a la enfermedad (Barros Nieves, 1982). En cuanto a los clones universales de cacao, el **CCN 51** y el **ICS 1** han sido calificados como **susceptibles**, mientras que el clon **TSH 1188** ha demostrado ser resistente (Sanches et al., 2008).

Control del vector

Para el **control del barrenador del cacao** (*Xyleborus* sp.), se recomienda erradicar árboles afectados, proteger heridas, hacer poda preventiva o de mantenimiento, y podar especies forestales.

El microorganismo más recomendado para el control del vector es *Beauveria bassiana*, aunque también se indica *Metarhizium anisopliae* (Cuéllar Palacios et al., 2024). En cuanto a las **prácticas etológicas**, algunos especialistas recomiendan las trampas con feromonas y alcohol (figura 10) (Cuéllar Palacios et al., 2024).

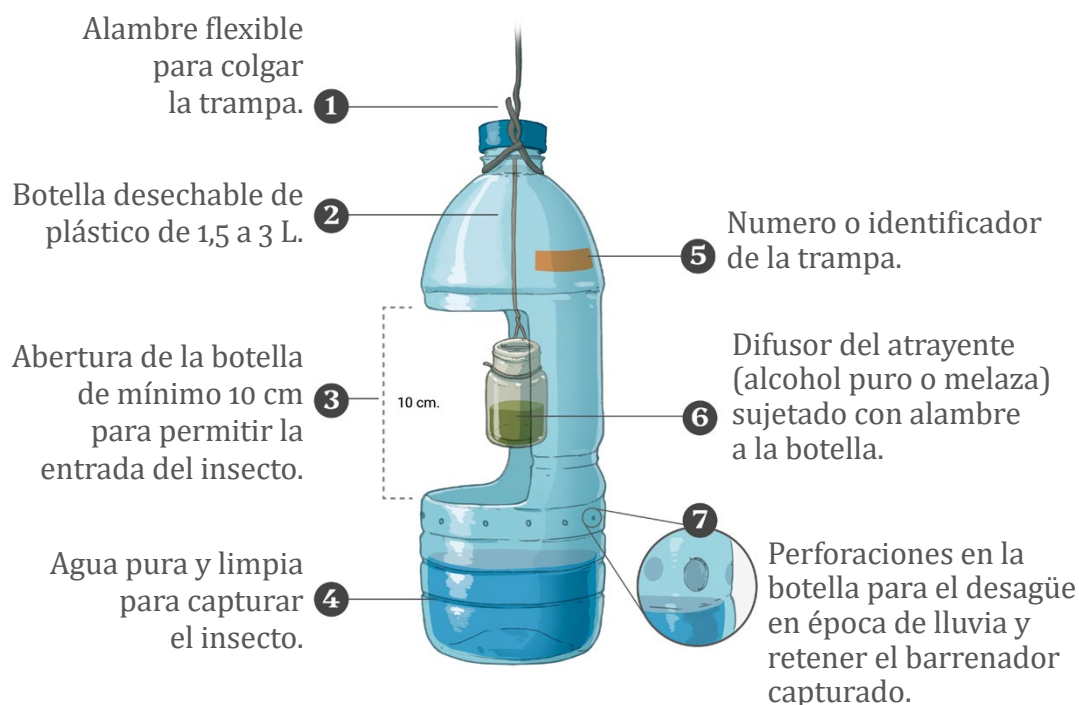


Figura 10. Trampa de alcohol para control de *Xyleborus* sp.

Fuente: Elaboración propia con base en Barrera et al. (2006)

Para el **control químico** se aconseja la aplicación de caldo sulfocálcico, pasta bordelés y extractos de Neem. Estos productos son **químicos menos perjudiciales** para el medio ambiente y el ser humano. Si se detecta que más del 1 % de árboles están afectados, deben adoptarse medidas de control (Equipo técnico de la Alianza Cacao El Salvador, s.f.).

29

La instalación de al menos doce trampas (feromonas con alcohol al 50 %) por hectárea permite la captura masiva del vector y puede ser suficiente para reducir los daños a niveles económicamente aceptables (Equipo técnico de la Alianza Cacao El Salvador, s.f.).



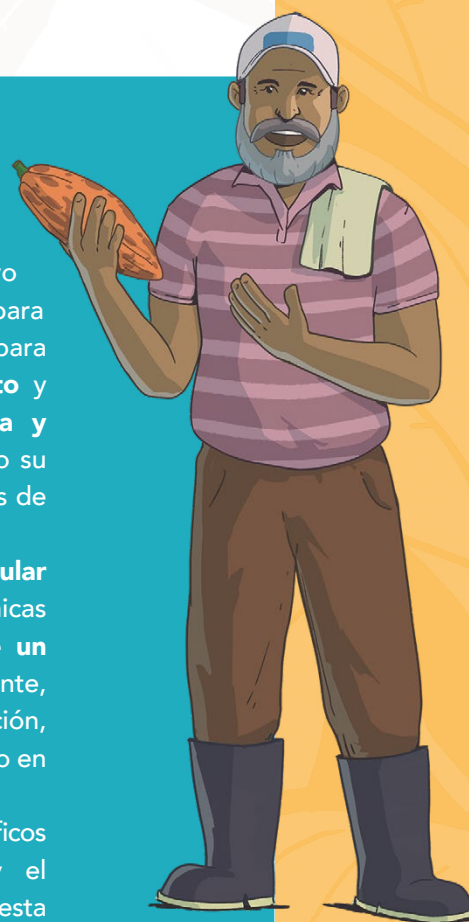


Avances en el conocimiento de la marchitez por *C. cacaofunesta* en cacao

Este capítulo presenta el desarrollo y los resultados del trabajo de investigación realizado por AGROSAVIA en el **Centro de Investigación Nataima**, cuyo objetivo principal fue generar conocimiento fundamental para el manejo de la mc. Se detalla la **metodología** para establecer la colección de trabajo, el **aislamiento** y las **caracterizaciones morfológica, micrométrica y macrométrica** del hongo *C. cacaofunesta*, incluido su comportamiento fisiológico ante diferentes medios de cultivo y pH.

Posteriormente, se aborda la **identificación molecular** de las especies existentes en Colombia, con técnicas filogenéticas avanzadas, y la **estandarización de un método de infección** artificial en vivero. Finalmente, se exponen los **resultados clave** de esta investigación, incluido el grado de **resistencia genética** detectado en una selección de clones de cacao.

Lo invitamos a conocer de cerca los avances científicos que fundamentan la toma de decisiones y el mejoramiento genético en la lucha contra esta devastadora enfermedad.



Riesgos, detección y necesidades de investigación

La MC, junto con sus vectores, los **coleópteros barrenadores** (Curculionidae: Scolytinae), representan un riesgo latente para la producción de cacao. Esto se debe a que el **incremento de temperatura** favorece la reproducción del vector, mientras que el **déficit hídrico** causa estrés en el árbol de cacao y promueve el desarrollo de la enfermedad (Rodríguez-Becerra et al., 2024).

La MC es una enfermedad que ataca principalmente el **sistema vascular** de la planta, por lo que su presencia en el tallo principal compromete seriamente la vida del **árbol**. Su **detección temprana**, basada en la identificación de síntomas iniciales —como amarillamiento de hojas, clorosis, y galerías y aserrín en el tallo o ramas—, permite un manejo oportuno. Este manejo se basa en prácticas esenciales como la eliminación de **árboles** enfermos, y el monitoreo y control del vector.

Es necesario **profundizar en la investigación** de la MC en el país, abordando temas cruciales relacionados con la identificación de las especies de hongo presentes, así como estudios de biología y epidemiología de *C. cacaofunesta* y *Xyleborus* sp. También se requieren estudios sobre la interacción **hongo-vector** y análisis epidemiológicos que consideren el huésped (cacao) y el ambiente.

Montaje de la colección de trabajo de *Ceratocystis*

Se colectaron **segmentos de tejido vegetal** del tallo y el suelo de la periferia, en árboles con **síntomas característicos de la enfermedad** y con nivel intermedio de daño (hojas marchitas adheridas al árbol, **perforaciones** con aserrín y necrosis marrón en la médula del tallo o ramas), en cultivos comerciales de cacao de los departamentos de Tolima, Huila, Santander y Valle. Las muestras de tejido vegetal y suelo se empacaron y rotularon para el **aislamiento del hongo** en laboratorio.

En total, se obtuvieron **35 aislamientos puros**, utilizados en los estudios de **caracterización morfológica** e identificación de la especie de hongo presentes en el país, y **caracterización fisiológica** para identificar sustratos alimenticios utilizados por el hongo, crecimiento en diferente pH y agresividad de aislamientos. Además, se **evaluó la resistencia a la MC** en 23 clones de cacao.

Aislamiento del hongo *C. cacaofunesta*

El aislamiento inicial se realizó mediante **trampas con formato de sándwich** y frutos de cacao de tres a cuatro meses de edad (Dalva et al., 2004).

Para obtener un **cultivo libre** del hongo, se colectaron **ascosporas de un único peritecio** mediante **observación en un estereoscopio**. Las ascosporas se manipularon con un asa bacteriológica recta y se transfirieron a medio de cultivo **papa-dextrosa-agar** (40, 20 y 15 %). El medio se ajustó a **pH 3,0** con ácido láctico y se incubó a **temperatura ambiente (~25 °C)** (figura 11).



Figura 11. Aislamiento y obtención de cultivo puro de *Ceratocystis* spp. con trampas tipo sándwich y fruto de cacao. **a.** Desinfección de los segmentos de tallo con síntomas; **b, c y d.** Montaje de trampas en sándwich; **e.** Almacenamiento de trampas; **f.** Captura de ascosporas a partir de un único ascocarpio o peritecio; **g y h.** Cultivo puro de *C. cacaofunesta*.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco

Caracterización morfológica de *C. cacaofunesta*

De la colección de aislamientos establecida, fueron evaluados **18 aislamientos** de *C. cacaofunesta* provenientes de diferentes regiones del país (**Tolima:** Cf1, Cf26, Cf 27, Cf28, Cf29, Cf47; **Huila:** Cf3, Cf8, Cf16, Cf17, Cf21, Cf23, Cf24, Cf25; **Santander:** Cf10, Cf13; **Valle:** Cf14, Cf15) (tabla 3). Para caracterizar la diversidad morfofisiológica de los aislamientos, se realizaron mediciones micrométricas (estructuras microscópicas) y macrométricas (crecimiento en medio de cultivo) en agar papa-dextrosa (PDA) y agar extracto de malta (AEM).

Caracterización micrométrica

Para la **evaluación micrométrica**, inicialmente se realizó una **suspensión de las estructuras del hongo** a partir de la adición de 10 mL de agua destilada estéril y un raspado a una placa de cultivo puro del hongo en medio AEM de siete días de edad.

Posteriormente, a esta suspensión se le **adicionaron tres gotas de ácido láctico** (10 μ L) y se dispusieron tres gotas de esta suspensión en un portaobjetos. La suspensión se cubrió con una laminilla de vidrio para identificar y medir las estructuras bajo microscopio óptico (Zeiss Primostar) y cámara óptica (AxioCam ERc 5s).

Como **variables cuantitativas** se evaluaron el diámetro del peritecio, el largo del cuello del peritecio, y el ancho y largo de las ascosporas. El procesamiento de imágenes se realizó en el *software* Zen (*blue edition*) 2006-2011.

Caracterización macrométrica

Para la caracterización macrométrica se midió el **diámetro de crecimiento de la colonia** (DCC) de *C. cacaofunesta* en cajas Petri con PDA y AEM, y bajo diferentes condiciones de pH (5, 7 y 9) (figura 12). La **evaluación de crecimiento** se realizó diariamente a partir del tercer día después de la siembra del hongo en la placa Petri, y se mantuvo hasta el día 12.

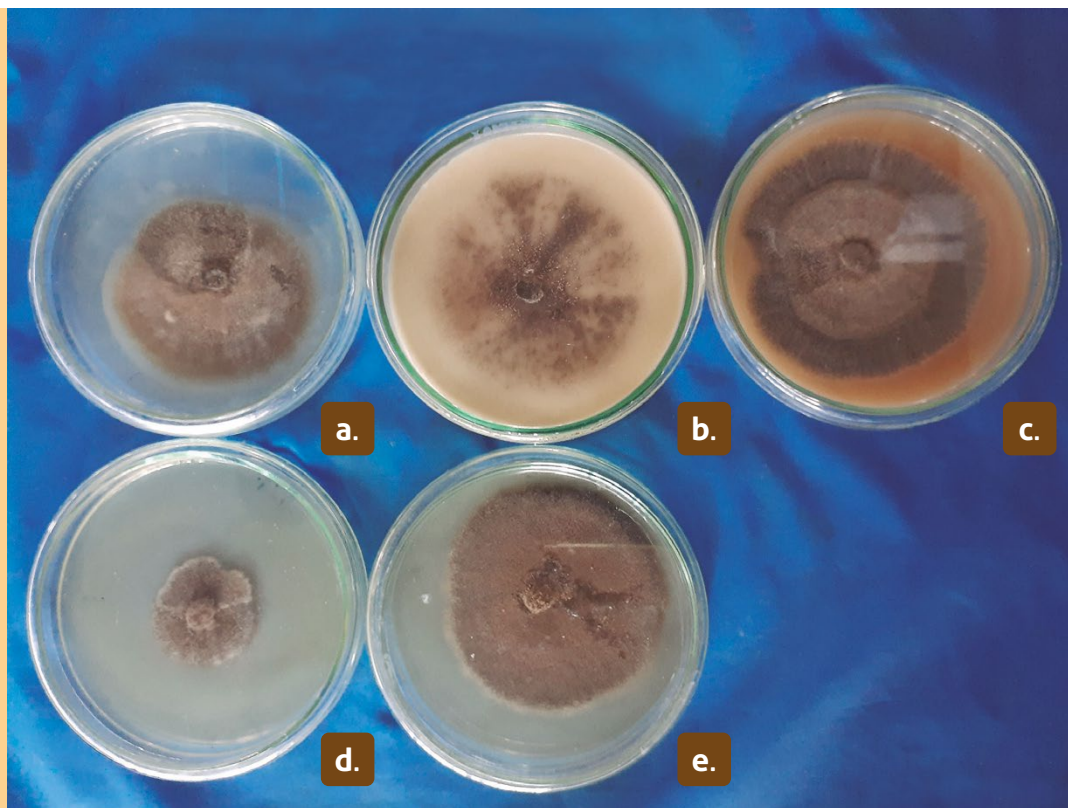


Figura 12. Crecimiento del hongo *C. cacaofunesta* en diferentes medios de cultivo. **a.** Medio PDA; **b.** Medio agar avena; **c.** Medio V8; **d.** Medio AEM pH 5; **e.** Medio AEM pH 7.

Fotos: Paula Andrea Bermeo-Fúquene

Resultados

Caracterización micrométrica

En la caracterización micrométrica de estructuras de *C. cacaofunesta* se observaron **rangos amplios** entre los **valores del tamaño** de las estructuras evaluadas. Los **valores de diámetro** del peritecio (DP) oscilaron entre 101,23 y 264,25 μm ; respecto al largo del cuello (LC), los valores estuvieron entre 199,35 y 701,28 μm ; para el largo de la hifa ostiolar (LH), entre 42,07 y 157,19 μm ; para largo de ascospora (LA), entre 3,1 y 5,95 μm , y para ancho de ascospora (AA), entre 2,11 y 4,67 μm . Adicionalmente, el radio de la ascospora (largo/ancho) varió entre 1,00 y 2,12 (figura 13).

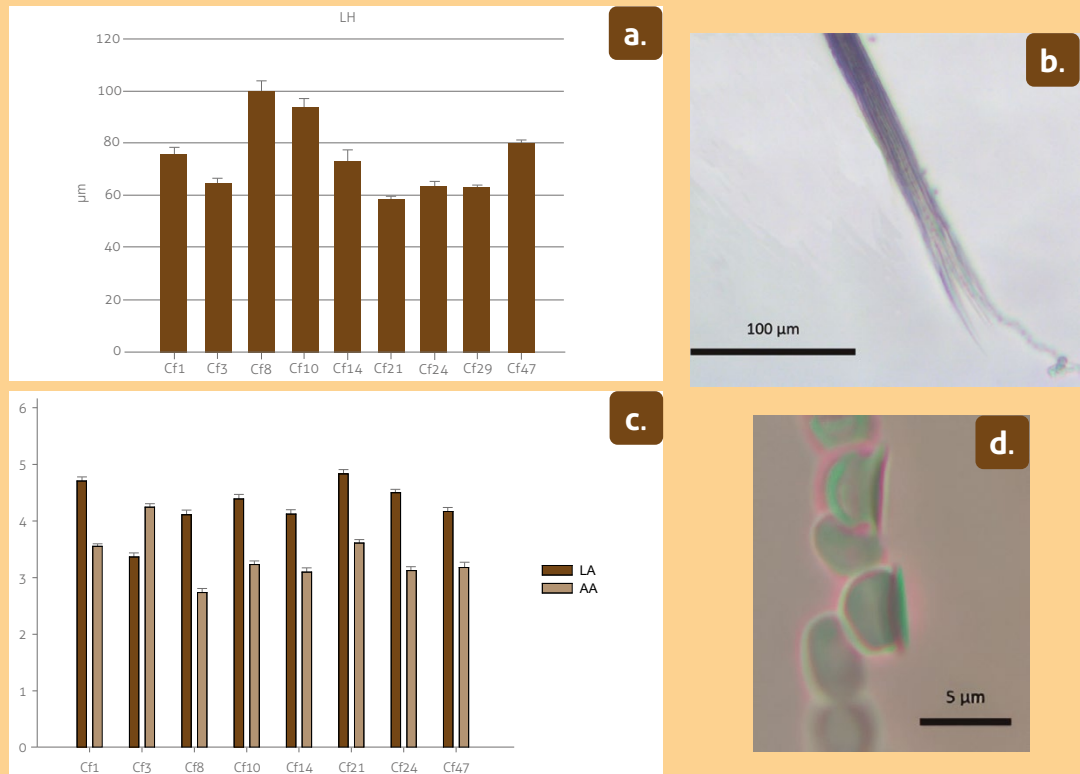


Figura 13. Características micrométricas para diferentes aislamientos de *C. cacaofunesta* provenientes de fincas productoras de cacao en diferentes departamentos del país (las barras de error representan el error estándar). **a.** LH: largo de hifa; **b.** Hifas hostiolares; **c.** LA: largo de ascospora, y AA: ancho de ascospora; **d.** Ascosporas.

Fuente: Elaboración propia

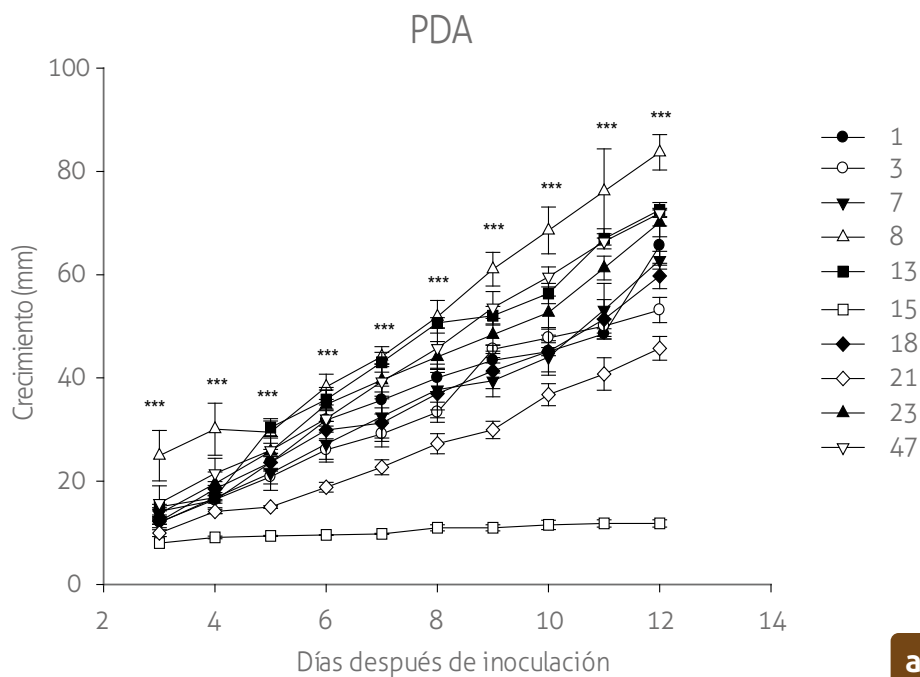
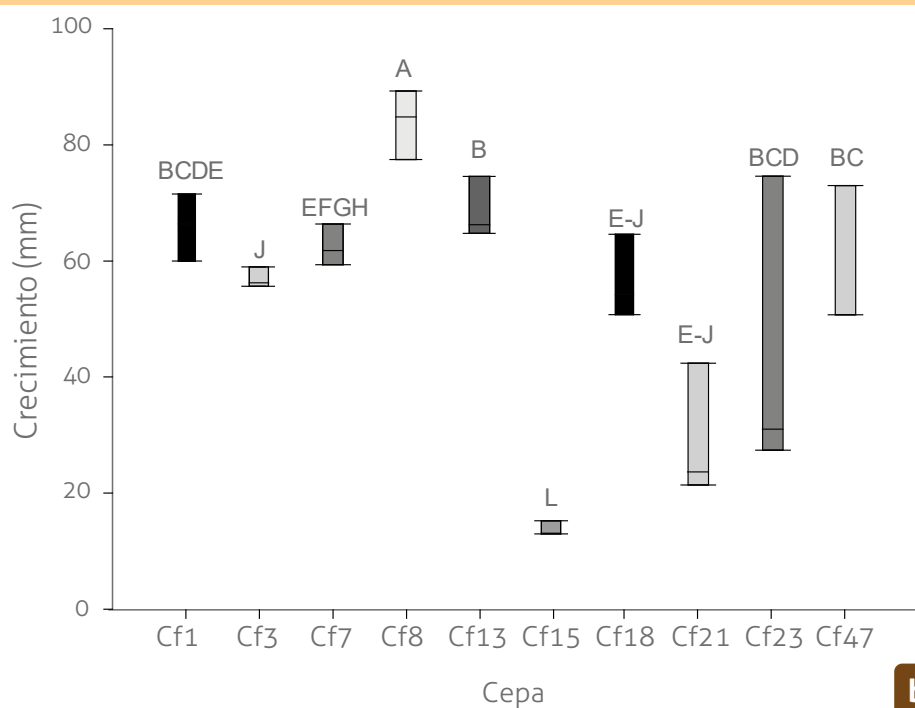
Fotos: Paula Andrea Bermeo-Fúquene

Caracterización macrométrica de los aislamientos

Se realizó la medición diaria del **diámetro de crecimiento de la colonia** durante **diez días consecutivos** en el mismo número de aislamientos de *C. cacaofunesta*. Las pruebas se efectuaron en diferentes medios de cultivo: PDA y AEM a distintos rangos de pH: 5, 7 y 9 (AEM pH5, AEM pH7 y AEM pH9) (figura 14 y tabla 1).

Se observaron **diferencias altamente significativas** en los valores del DCC entre los medios de cultivo evaluados (figura 14). En general, los valores más altos de DCC correspondieron al aislamiento Cf8 (Valle del Cauca) y los valores más bajos a Cf15 (Tolima).

El DCC en PDA indicó un valor significativamente mayor para Cf8 (83,71 mm), procedente del Valle del Cauca (Palmira) (figura 14). Adicionalmente, en este medio de cultivo, las cepas de *Ceratocystis* presentaron distribución de peritecios tanto en el centro como a lo largo de la caja. Asimismo, la **cantidad de anillos concéntricos** varió en cada cepa: desde ausentes (0) hasta cuatro anillos.

**a.****b.****Figura 14.**

Evaluación del crecimiento de cepas de *Ceratocystis* en PDA provenientes de diferentes zonas del país. **a.** Crecimiento diario del día 3 al 12; **b.** Crecimiento total acumulado al día 12.

* Nivel de significancia < 0,001, de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey box plot para el día 12.

** Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) ($n = 3$).

Fuente: Elaboración propia

Sobre el crecimiento de *C. cacaofunesta* en el medio de cultivo AEM bajo diferentes pH, se observó una **reducción** del **DCC** con el incremento de pH (tabla 1). El valor más alto de pH evaluado (9) **inhibió en mayor proporción el crecimiento del hongo** (tabla 1). Los aislamientos con mayor DCC en los tres rangos de pH evaluados fueron Cf8 y Cf47, procedentes de Palmira (Valle) y Fresno (Tolima), respectivamente.

Tabla 1. Evaluación del diámetro de crecimiento de la colonia (DCC) de cepas de *Ceratocystis* en diferentes rangos de pH (5, 7 y 9) en agar extracto de malta (AEM), provenientes de diferentes zonas del país (evaluado entre los días 3 y 12)

ID cepa	Diámetro de crecimiento de colonia del hongo (mm) en diferentes rangos de pH en AEM		
	pH 5	pH 7	pH9
Cf1	46,30	53,11	31,03
Cf3	30,16	38,59	51,84
Cf8	67,88	48,19	49,32
Cf10	51,25	66,75	66,06
Cf13	20,20	30,49	-
Cf14	46,17	59,52	56,06
Cf15	46,94	10,05	12,39
Cf16	31,45	58,42	46,26
Cf17	-	44,52	69,56
Cf21	25,35	42,17	51,30
Cf23	71,12	64,54	40,70
Cf24	46,59	54,62	61,29
Cf25	62,58	37,96	59,38
Cf26	21,76	44,01	54,22
Cf27	69,79	66,59	51,44
Cf28	39,36	62,05	44,08
Cf29	31,30	44,72	48,27
Cf47	79,41	78,09	59,57
ID cepa: código de identificación de la cepa en laboratorio. Fuente: Elaboración propia			

En el medio AEM pH 5, los **valores más altos del DCC** se observaron en los aislamientos Cf23, Cf8, Cf27, Cf30 y Cf47, colectados en los departamentos de Tolima (Chaparral), Valle (Palmira), Tolima (Falan y Palocabildo), respectivamente.

En AEM pH 7, los **valores más altos del DCC** fueron para los aislamientos Cf8 y Cf47, procedentes de Palmira y Palocabildo, respectivamente (tabla 1). En AEM pH 9, las cepas con los valores más altos de DCC se encontraron en Cf47 y Cf28, procedentes de aislamientos obtenidos de tejido vegetal en los municipios de Palocabildo y Falan, respectivamente.

Identificación molecular de especies de *Ceratocystis*

Se seleccionaron **25 aislados de *Ceratocystis*** originarios de cinco departamentos del país (tabla 3).

La clasificación taxonómica se basó en el **análisis de tres regiones génicas**, según lo propuesto por Fourie et al. (2015): β -tubulina (BT), **factor de elongación** (EF) y la **subunidad beta** de la proteína de unión al nucleótido de guanina (MS204) (tabla 2).

Las **secuencias de consenso** para cada región se obtuvieron mediante la herramienta Tracy (Rausch et al., 2020) y se alinearon con el algoritmo MUSCLE (Edgar, 2004). La **inferencia filogenética** se realizó mediante el método de máxima verosimilitud con 100 iteraciones de Bootstrap, con el *software* MEGA (Kumar et al., 2018).

Tabla 2. Cebadores usados para secuencias de las regiones EF, BT y MS

Cebador	Secuencia 5' - 3'	Gen objetivo
EF1F	TGCGGTGGTATCGACAAGCGT	Factor de elongación 1-alpha
EF2R	AGCATGTTGTCGCCGTTGAAG	
BT1a	TTCCCCGTCTCCACTTCTTCATG	β tubulina
BT1b	GACGAGATCGTTCATGTTGAACTC	
MS204F.cerato B	GGCTGAGCAGCTGATCCT T	Proteína de unión al nucleótido de guanina MS
MS204R.cerato B	ATGTCCGGGTAGTGTTACCG	

Fuente: Elaboración propia con base en Fourie et al. (2015)

Resultados

Para lograr una **clasificación taxonómica completa** de los aislados investigados, se emplearon metodologías de **inferencia filogenética** con tres marcadores genéticos distintos: BT, EF y el **gen MS** (proteína de unión al nucleótido de guanina). Las secuencias de los marcadores se han depositado en GenBank con los siguientes números de acceso: para BT, de PP770556 a PP770580; para MS, de PP770581 a PP770605, y para el factor de elongación, de PP566610 a PP566634 (tabla 3).

Tabla 3. Detalles de los aislamientos de *Ceratocystis* utilizados, incluidos los códigos de acceso de GenBank de las secuencias generadas en el estudio

Nomenclatura		Código en GenBank			Localización	
Cepa laboratorio	Cepa GenBank	BT	MS	EF	Departamento	Municipio
Cf1	01-TRio	PP770556	PP770581	PP566610	Tolima	Rioblanco
Cf3	03-HGar	PP770557	PP770582	PP566611	Huila	Garzón
Cf5	05-HGig	PP770558	PP770583	PP566612	Huila	Gigante
Cf7	07-SRio	PP770559	PP770584	PP566613	Santander	Rionegro
Cf10	10-VPal	PP770560	PP770585	PP566614	Valle	Palmira
Cf13	13-HGar	PP770561	PP770586	PP566615	Huila	Garzón
Cf14	14-HELAg	PP770562	PP770587	PP566616	Huila	El Agrado
Cf15	15-HGig	PP770563	PP770588	PP566617	Huila	Gigante
Cf16	16-HRiv	PP770564	PP770589	PP566618	Huila	Rivera
Cf17	17-HRiv	PP770565	PP770590	PP566619	Huila	Rivera
Cf18	18-HRiv	PP770566	PP770591	PP566620	Huila	Rivera
Cf21	21-TCha	PP770567	PP770592	PP566621	Tolima	Chaparral
Cf23	23-TCha	PP770568	PP770593	PP566622	Tolima	Chaparral
Cf24	24-TCha	PP770569	PP770594	PP566623	Tolima	Chaparral
Cf25	25-TFal	PP770570	PP770595	PP566624	Tolima	Falan
Cf26	26-TFal	PP770571	PP770596	PP566625	Tolima	Falan
Cf27	27-TFal	PP770572	PP770597	PP566626	Tolima	Falan
Cf28	28-TFal	PP770573	PP770598	PP566627	Tolima	Falan
Cf29	29-TFal	PP770574	PP770599	PP566628	Tolima	Falan
Cf30	30-TFal	PP770575	PP770600	PP566629	Tolima	Falan
Cf33	33-TFal	PP770576	PP770601	PP566630	Tolima	Falan
Cf35	35-TFal	PP770577	PP770602	PP566631	Tolima	Falan
Cf42	42-TPal	PP770578	PP770603	PP566632	Tolima	Palocabildo
Cf45	45-TPal	PP770579	PP770604	PP566633	Tolima	Palocabildo
Cf47	47-TPal	PP770580	PP770605	PP566634	Tolima	Palocabildo

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, se realizó un **análisis filogenético** basado en el gen del factor de elongación. Sin embargo, el árbol resultante no proporcionó una solución definitiva, ya que las cepas exhibieron patrones de agrupamiento que abarcaban diferentes especies, incluidas *C. platani* y *C. acaciivora*.

En cambio, las **reconstrucciones filogenéticas** con los genes de β -tubulina y MS generaron árboles más coherentes y bien soportados. Los **patrones de agrupamiento** observados en estos análisis sugirieron una relación evolutiva más estrecha entre los aislados estudiados y proporcionaron información taxonómica más clara. Para reforzar aún más nuestra inferencia, realizamos un **análisis concatenado**, uniendo las secuencias de los genes de β -tubulina y MS para cada aislado.

El análisis filogenético reveló un patrón de agrupamiento distintivo, en el que **todos los aislados se agruparon** con la especie *C. cacaofunesta* (figura 15). Esta agrupación se vio respaldada por un valor Bootstrap del 79 %, lo que indica alta confianza estadística en la relación inferida. La separación de este clado de otros taxones dentro del género *Ceratocystis* resalta el **linaje evolutivo distintivo** que representa *C. cacaofunesta* y su estrecha afinidad filogenética con los aislados estudiados. La especie se detectó en los diferentes lugares muestreados (Carrero Gutiérrez et al., 2025).

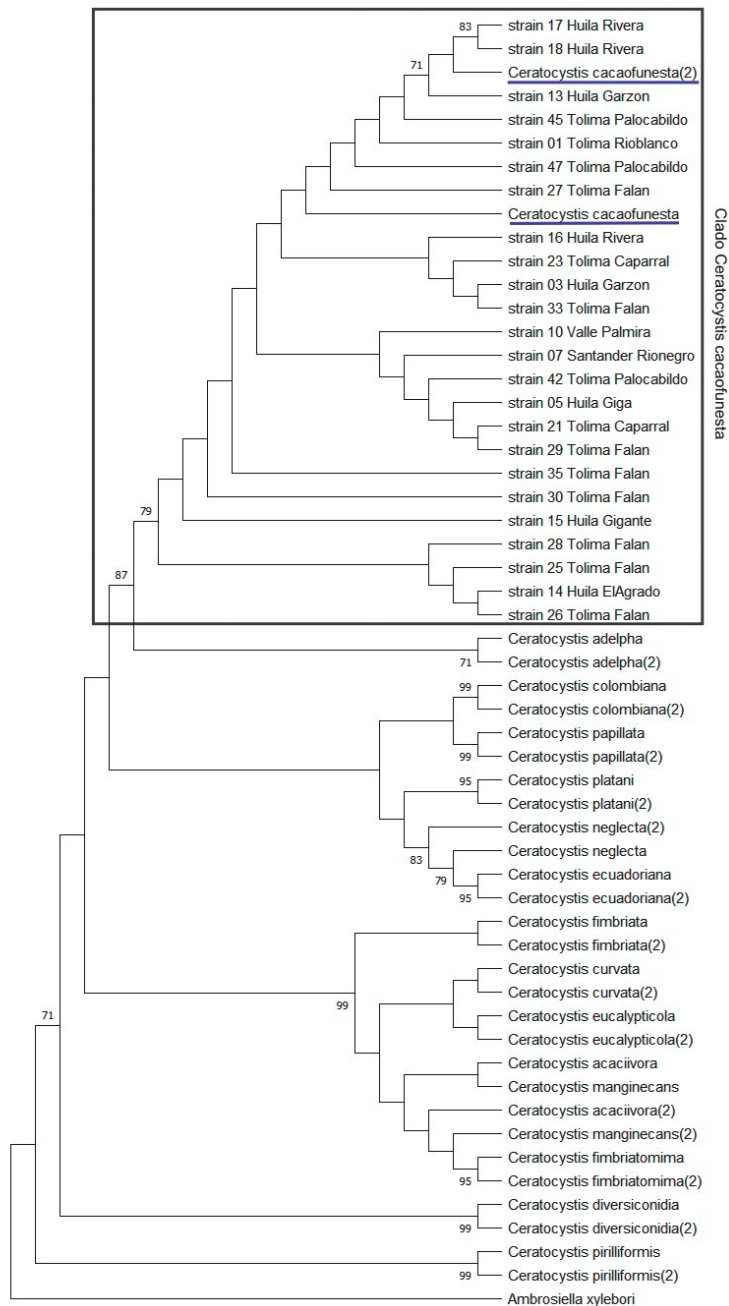


Figura 15. Inferencia filogenética por el método de máxima verosimilitud y el análisis de Tamura-Nei para representar las especies de *Ceratocystis*.

Nota: Se construyó a partir de datos combinados de los genes BT-1 y MS204. El soporte de las ramas se evaluó mediante análisis *bootstrap* con 1.000 réplicas. Los valores son superiores a 60. Como grupo externo, se utilizaron las especies *Ambrosiella xyleborus* y *Ceratocystis pirilliformis*.

Fuente: Elaboración propia



El análisis filogenético molecular confirmó que todos los aislados investigados pertenecen a la especie *C. cacaofunesta*. Esto respalda la presencia inequívoca de esta especie como la causante de la marchitez vascular en las zonas de muestreo.

Estandarización de un método de infección en plantas en vivero

El marchitamiento por *C. cacaofunesta* es una **enfermedad letal**, que ocasiona la muerte rápida en la planta de cacao. El **uso de germoplasma resistente** es la estrategia más económica, eficaz y ambientalmente segura para su control.



La **selección de genotipos resistentes** en condiciones controladas es la estrategia para la **detección temprana de genotipos que resisten el patógeno**. Los genotipos pueden ser empleados como portainjertos o en programas de mejoramiento genético para el manejo de la enfermedad.

Para la **estandarización y selección** de un método de calificación de resistencia en genotipos de cacao, se estableció un **experimento de inoculación artificial en plantas** de ocho meses del clon IMC 67 (figura 16). El experimento se diseñó completamente al azar con arreglo factorial ($5 \times 2 \times 3$). Se emplearon cinco aislamientos del hongo (seleccionados por su mayor esporulación en medios de cultivo PDA y AEM), dos concentraciones de inóculo (3×10^5 y 3×10^6 UFC/mL [unidades formadoras de colonias/mililitro]) y tres profundidades de herida en el tallo (superficial: herida a la corteza; medio: herida al leño; profundo: herida en la médula). Se tomaron datos en **quince repeticiones o plantas por tratamiento**.

Las plantas fueron inoculadas por herida en tallo a 7 cm desde el punto de injerto con un bisturí. Se depositaron 30 μ L de las concentraciones de inóculo evaluadas. El testigo absoluto fue inoculado con agua destilada estéril.

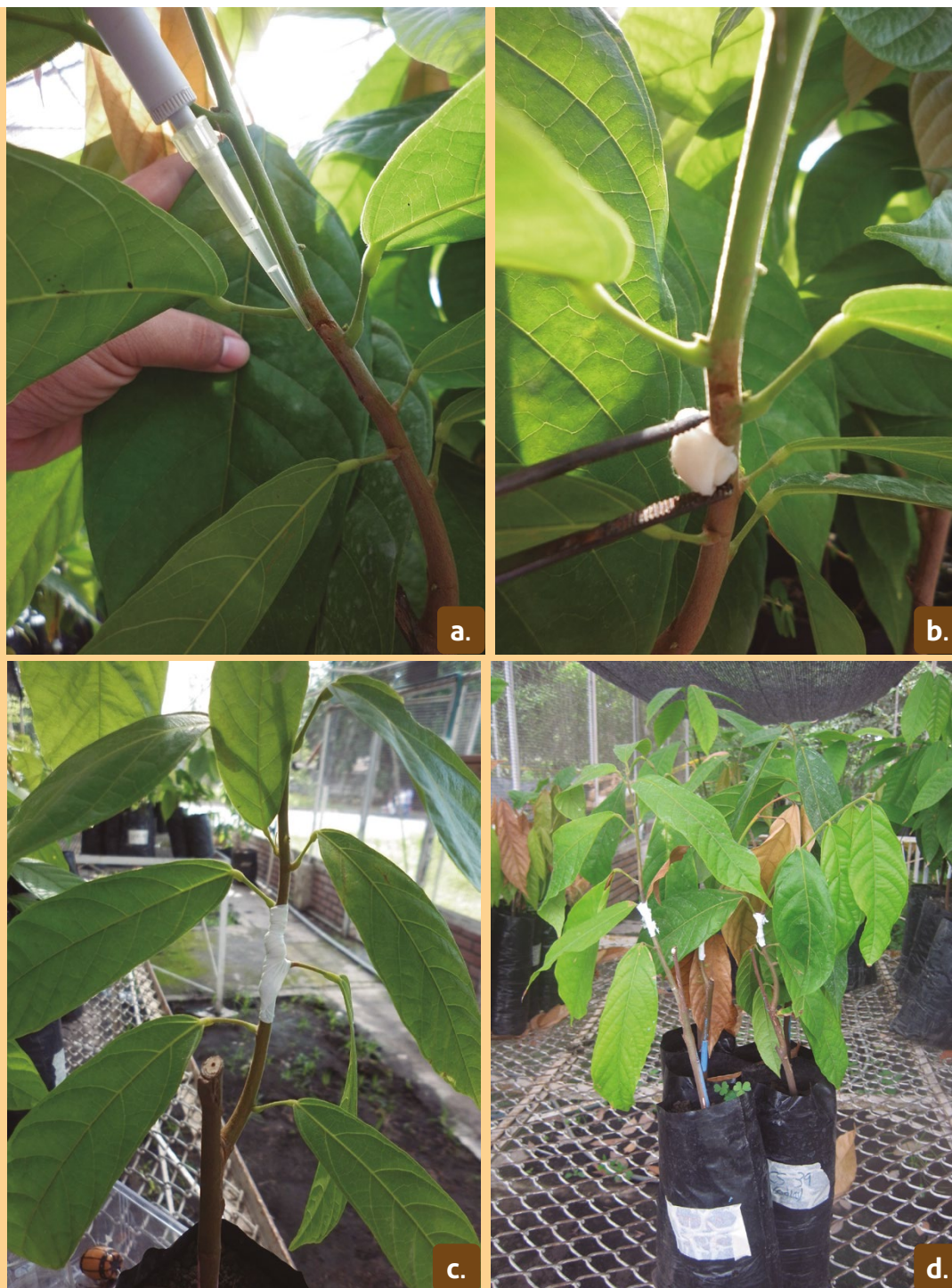


Figura 16. Método de inoculación artificial de *C. cacaofunesta* en plantas-injerto del clon IMC 67. **a.** Aplicación del inóculo; **b.** Ubicación del algodón humedecido con agua destilada estéril; **c.** Cámara húmeda en el sitio de inoculación; **d.** Síntomas de amarillamiento.

Fotos: Edinson Bayardo Parra Alferes

Se realizaron **lecturas semanales de conteo y eliminación de plantas muertas**. Los datos fueron examinados con un análisis de varianza de Kruskal Wallis (no paramétrico) basado en rangos. Las diferencias entre tratamientos se establecieron con la prueba de Dunn.

Se determinó que la **concentración de inóculo** 3×10^5 UFC/mL y la profundidad de la herida intermedia en el tallo permiten calificar **la resistencia en plantas** de cacao en etapa de vivero. Esto es posible porque causan un número de plantas muertas estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) al de la concentración más alta, 3×10^6 UFC/mL, y al de la herida profunda en el tallo (tabla 4).

Se observaron diferentes grados de agresividad en los aislamientos evaluados Cf5, Cf2 y Cf4. Arrojaron los valores más altos y causaron muerte de plantas superior al 50 %, mientras que Cf3 fue menos agresivo y causó 22,22 % de plantas muertas (tabla 4).

Tabla 4. Medias y errores estándar del aislamiento, concentración de inóculo y profundidad de la herida para las plantas muertas del clon IMC 67 (%) infectadas artificialmente con *Ceratocystis*

Aislamiento	Media* (E. E.)	Concentración	Media (E. E.)	Profundidad	Media (E. E.)
Cf5	55,56 (28,67) a	3×10^6	44,44 (24,10) a	Profunda	63,33 (20,90) a
Cf2	55,56 (26,75) a	3×10^5	40,00 (22,80) a	Media	33,33 (13,40) ab
Cf4	50,00 (25,17) a			Superficial	30,00 (12,20) b
Cf1	27,78 (19,75) ab				
Cf3	22,22 (16,92) b				

*Las medias con una letra común dentro de cada columna no son significativamente diferentes en el test de Dunn ($p \leq 0,05$). Cada valor de la media representa quince repeticiones.
Fuente: Elaboración propia

Detección del grado de resistencia genética en clones de cacao

Para determinar el grado de **resistencia** a *C. cacaofunesta*, se desarrolló un **experimento de inoculación artificial** con el aislamiento Cf5 (identificado previamente como el más agresivo).

Se evaluaron **21 genotipos o clones de cacao**. Entre ellos se incluyeron materiales empleados como copas y patrones: F55-1, SCA 6, SCA 9, SCA 12, SCC 61, ICA 219, CAU 37, IMC 67, ICS 1, ICS 40, ICS 60, ICS 95, EET 8, CCN 51, TSH 812, UF 667, R 2, R 13, PA 46, PA 150, PA 159. Los clones CCN 51 y SCA 12 se utilizaron como control susceptible y resistente, respectivamente (figura 17).

El experimento se estableció en un **diseño completamente al azar** con quince repeticiones por tratamiento. Las plantas se inocularon con heridas en el tallo a 7 cm del injerto y a una profundidad media. Allí se depositaron 30 μL de la solución de inóculo con una concentración de $3 \times 10^5 \text{ UFC/mL}$. Las **plantas inoculadas con agua destilada estéril** se utilizaron como controles.



Figura 17. Inoculación artificial con *C. cacaofunesta* en clones de cacao, para detectar resistencia genética.

Foto: Eleonora Rodríguez Polanco

Semanalmente **se contaron y retiraron las plantas muertas** del experimento. La severidad final en las plantas sobrevivientes se estableció 60 días después de la inoculación (DDI) y fue medida como la longitud (mm) de la necrosis interna del tejido, desde el cuello de la raíz y a lo largo del tallo. Se calculó como una razón de severidad (longitud total de la necrosis / longitud total de la planta).

Se llevó a cabo un **análisis de clúster** para agrupar los clones de cacao con relación al total de **plantas muertas** y la severidad de las **plantas sobrevivientes**. Se empleó la distancia euclidiana y el método de Ward. La correlación de Pearson se usó en las dos variables.

Los clones del clúster I (ICS 60, ICS 95, PA 169, UF 667, SCA 12, PA 150, ICS 40, TSH 812, R2, R13 y EET 8) no presentaron plantas muertas, mientras que los clones del clúster III (PA 46, F 55-1, IMC 67 y SCA9) tuvieron los valores más altos (figura, 18). Un comportamiento similar fue observado en la severidad de las plantas sobrevivientes. Se estableció una **correlación positiva y significativa** entre la incidencia y la severidad (Pearson: $Rho = 0,76$ y $p < 0,001$).

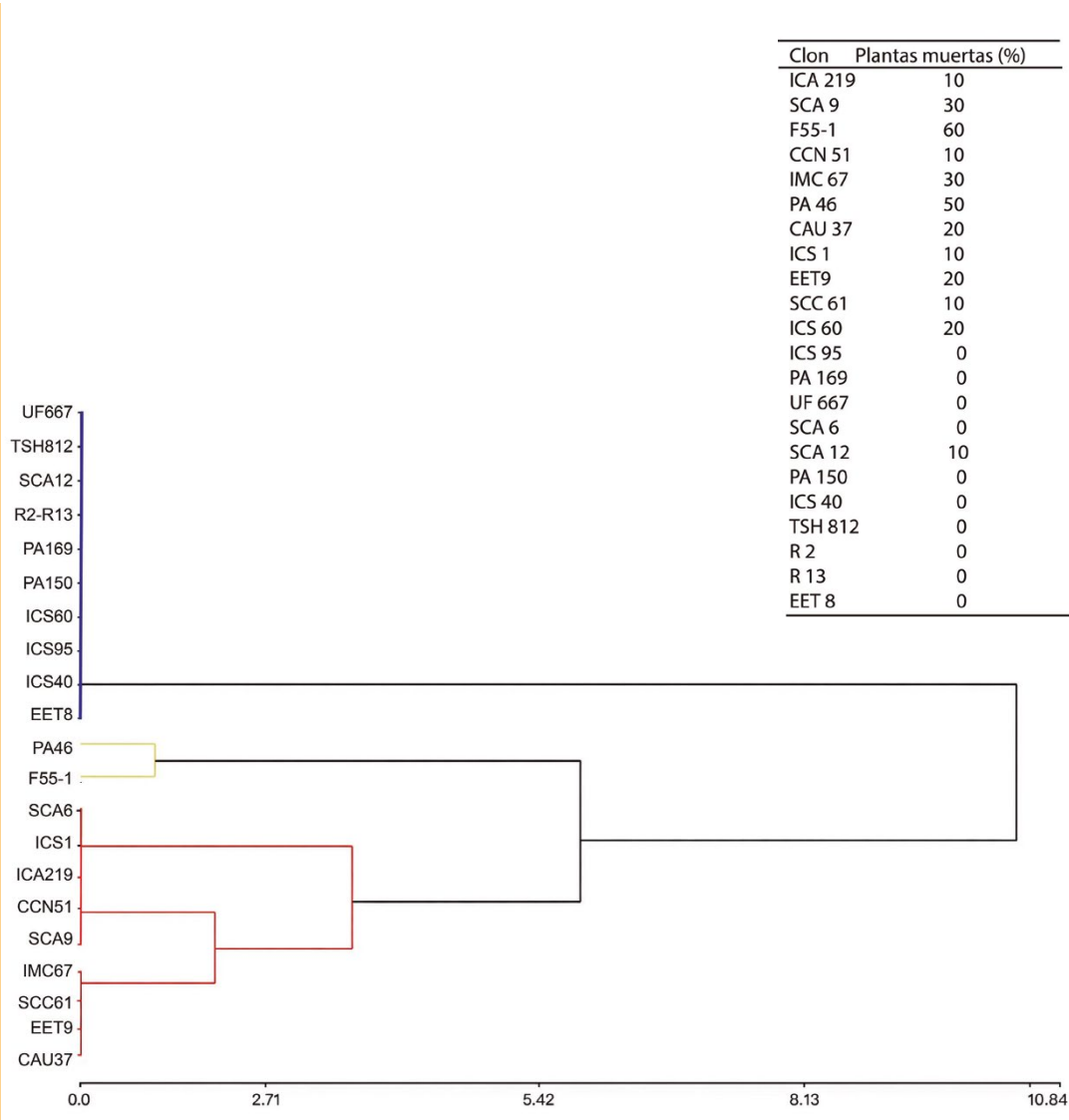


Figura 18. Grupos de clones de cacao obtenidos por análisis multivariado de conglomerados con la distancia euclidiana y el método de agrupación de mínima varianza de Ward.

Nota: En el análisis se usó el número de plantas muertas y 23 clones.
Azul: grupo I; negro: grupo II; rojo: grupo III.

Fuente: Elaboración propia



Recomendaciones

47

A continuación, se formulan las recomendaciones clave basadas en los hallazgos sobre la muerte progresiva del cacao (MC):

- **Implementar un sistema de monitoreo riguroso** para la detección temprana de síntomas de MC, como el amarillamiento y la necrosis foliar (observando si las hojas permanecen adheridas a las ramas). Es importante también **realizar inspecciones visuales** detalladas, incluyendo la revisión de lesiones marrones, perforaciones y acumulación de aserrín en el tronco principal y en ramas afectadas.
- **Priorizar la eliminación temprana y la disposición adecuada** de las plantas enfermas inmediatamente después de la detección de los primeros síntomas para contener la propagación del hongo *C. cacaofunesta*.
- **Establecer una estrategia de manejo integrado del vector** (*Xyleborus* sp.), utilizando trampas de alcohol o feromonas para monitorear y reducir la población del insecto y aplicar bioinsecticidas comerciales o formulaciones a base de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium* sp. como parte de esta.
- **Evitar el establecimiento de nuevas plantaciones de cacao** en suelos que presenten un pH de neutro a básico, ya que esta condición edáfica favorece el desarrollo y crecimiento del hongo causante de la enfermedad.
- **Priorizar el uso de material vegetal** con resistencia demostrada en campo. Algunos resultados iniciales de la investigación indicaron un mayor nivel de resistencia en los clones: ICS 60, ICS 95, PA 169, UF 667, SCA 12, PA 150, ICS 40, TSH 812, R2, R13 y EET 8 y mayor susceptibilidad en los clones PA 46, F 55-1, IMC 67 y SCA9, por lo que se sugiere disminuir en la medida de lo posible su propagación. **Es pertinente continuar con la evaluación de resistencia genética** para generar recomendaciones más robustas sobre el uso de clones susceptibles y resistentes.



Referencias

- Angelotti, F., Hamada, E., & Bettiol, W. (2024). A comprehensive review of climate change and plant diseases in Brazil. *Plants*, 13(17), 2447. <https://doi.org/10.3390/plants13172447>
- Bailey, B. A., & Meinhardt, L. W. (Eds.). (2016). *Cacao diseases: A history of old enemies and new encounters*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2>
- Baker Engelbrecht, C. J., & Harrington, T. C. (2005). Intersterility, morphology and taxonomy of *Ceratocystis fimbriata* on sweet potato, cacao and sycamore. *Mycologia*, 97(1), 57–69. <https://doi.org/10.3852/mycologia.97.1.57>
- Barrera, J. F., Herrera, J., Villacorta, A., García, H., & Cruz, L. (2006). *Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café Hypothenemus hampei*. Sociedad Mexicana de Entomología; Colegio de la Frontera Sur.
- Barros Nieves, O. (1982). *Avances en la represión de la moniliasis del cacao*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21935>
- Bateman, R., & Crozier, J. (2023). *Empleo de plaguicidas en el sector del cacao: guía práctica* (4.^a ed.).
- Carrero Gutiérrez, M. L., González-Sayer, S., Jaimes-Suárez, Y., González-Almario, C., & González-Almario, A. (2025). *Ceratocystis cacaofunesta* is responsible for cocoa crops wilt in Colombia: Morphological and molecular characterization of isolates. *Journal of Plant Pathology*, 107, 795–810. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01798-7>
- Cuéllar Palacios, C. M., Thomas, E., Zavaleta, D., Zambrano Flores, F. G., Bahia, C., Orozco, L. A., Farfán Pinedo, A., Yovera Espinoza, F. F., Chia Wong, J. A., Márquez Dávila, K. J., Díaz Valderrama, J. R., Agudelo Castañeda, G. A., De Mattos, S. C. C., Solís Bonilla, J. L., Hernández Ruiz, J. M., Espinoza Roca, M., Báez Daza, E. Y., Rodríguez Callañupa, C. A., Solís, K., ... Atkinson, R. (2024). *Consulta de expertos en América Latina y el Caribe sobre las prácticas de manejo más utilizadas para el control de las principales plagas y enfermedades del cacao*. Bioversity International e International Center for Tropical Agriculture (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/169280>



- Dalva, S., Silva, V. M., Paim, C., & Castro, W. M. (2004). Cacao “Jaca” resistente a *Ceratocystis fimbriata* na região cacaueira da Bahia, Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, 29(5), 538-540.
- De Beer, Z. W., Duong, T. A., Barnes, I., Wingfield, B. D., & Wingfield, M. J. (2014). Redefining *Ceratocystis* and allied genera. *Studies in Mycology*, 79(1), 187-219. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.10.001>
- De Oliveira, B. F., Silva, S., Damaceno, V. O., & Dos Santos Filho, L. P. (2009). Identification of resistance source to *Ceratocystis* wilt in cacao seedlings. *Agrotrópica*, 21(1), 83-88.
- Delgado, R., & Suárez, C. (2003). Diferencias en agresividad entre aislamientos de *Ceratocystis fimbriata* de Ecuador y Brasil en cacao. *XII Seminario Nacional de Sanidad Vegetal*. <https://www.researchgate.net/publication/234058127>
- Edgar, R. C. (2004). MUSCLE: Multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. *Nucleic Acids Research*, 32(5), 1792-1797. <https://doi.org/10.1093/nar/gkh340>
- Engelbrecht, C. J., Harrington, T. C., & Alfenas, A. (2007). *Ceratocystis* wilt of cacao—A disease of increasing importance. *Phytopathology*, 97(12), 1648-1649. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1648>
- Equipo Técnico de la Alianza Cacao El Salvador. (s. f.). *Manejo integrado del barrenador del cacao (Theobroma cacao)* [Boletín n.º 1]. <https://sicacao.info/wp-content/uploads/2019/08/Manual-del-manejo-del-barrenador-final.pdf>
- García, C. (1997). *Cacao (Theobroma cacao L.)*. Universidad Nacional de Colombia.
- García Cabrera, O., López Molano, E. P., José, J., Correa Álvarez, J., & Guimarães Pereira, G. A. (2016). *Ceratocystis* wilt pathogens: History and biology—highlighting *C. cacaofunesta*, the causal agent of wilt disease of cacao. En B. Bailey & L. Meinhardt (Eds.), *Cacao diseases: A history of old enemies and new encounters* (pp. 383-428). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_12



- Gasparotto, L., Rezende Pereira, J. C., Eiji Hanada, R., Cares, J. E., Abreu de Araujo, J. C., & Da Silva Angelo, P. C. (2023). *Glosario de fitopatología*. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1153468/1/GLOSSARIO-FITOPATOLOGIA-ed04-2023.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del cacao: medidas para la temporada invernal*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/56449f50-f3fa-4254-a410-3153a872e8bb/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-del-cacao.pdf>
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., & Tamura, K. (2018). MEGA x: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1547-1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- Lahlali, R., Taoussi, M., Laasli, S., Gachara, G., Ezzouggari, R., Belabess, Z., Aberkani, K., Assouguem, A., Meddich, A., Jarroudi, M. E., & Barka, E. A. (2024). Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions. *Crop and Environment*, 3(3), 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.05.003>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2025, julio 9). *FAOSTAT: Cocoa beans*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Paladines-Rezabala, A., Moreira-Morrillo, A. A., Mielles, A. E., & Garcés-Fiallos, F. R. (2022). Advances in the understanding of the interaction between *Ceratocystis cacaofunesta* and *Xyleborus ferrugineus* in cacao trees. *Scientia Agropecuaria*, 13(1), 43-52. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.004>
- Rausch, T., Fritz M., Untergasser A., & Benes V. (2020). Tracy: Basecalling, alignment, assembly and deconvolution of sanger chromatogram trace files. *BMC Genomics*, 21, 230. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6635-8>
- Rodríguez-Becerra, S. H., Vázquez-Rivera, R., Ventura-Hernández, K. I., Pawar, T. J., & Olivares-Romero, J. L. (2024). The biology, impact, and management of *Xyleborus* beetles: A comprehensive review. *Insects*, 15(9), 706. <https://doi.org/10.3390/insects15090706>



- Rodríguez-Polanco, E., Niño, D. A., Bermeo-Fúquene, P. A., & Parra Alferes, E. B. (2024). *Ofertas tecnológicas para el manejo de la monilia y la pudrición parda en cacao (Theobroma cacao L.)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7406825>
- Sanches, C. L., Pinto, L. R., Pomella, A. W., Silva, S., & Loguercio, L. (2008). Assessment of resistance to *Ceratocystis cacaofunesta* in cacao genotypes. *European Journal of Plant Pathology*, 122(4), 517–528. <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9319-9>
- Sistema de Información de la Cadena de Cacao [SIOC]. (2021). *Cadena de cacao* [Presentación PowerPoint]. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Thorpe, D. J., Harrington, T. C., & Uchida, J. Y. (2005). Pathogenicity, ITS-rDNA variation, and human dispersal of *Ceratocystis fimbriata* on the family Araceae. *Phytopathology*, 95(3), 316–323. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0316>

Terminó de diseñarse en diciembre de 2025,
en Bogotá D.C., Colombia

La marchitez vascular del cacao (MV) causada por el hongo *Ceratocystis cacaofunesta* representa una de las mayores amenazas para la sostenibilidad del cultivo. Esto se debe a su alta letalidad y rápida dispersión, la cual causan algunas herramientas contaminadas y la presencia del insecto vector del barrenador *Xyleborus* spp. Por lo anterior, su control requiere un enfoque técnico riguroso.

El complejo hongo-insecto *Ceratocystis-Xyleborus* es altamente sensible al entorno donde habita, por lo que los cambios de temperatura y precipitación, originados por el cambio climático, afectan positivamente la población del insecto *Xyleborus* y el desarrollo del hongo. Esta alteración climática aumenta la incidencia y severidad de la enfermedad, lo cual hace indispensable su manejo dentro de un esquema integrado de prácticas culturales y biológicas principalmente.

Esta cartilla ofrece una síntesis sobre su etiología, biología, epidemiología y manejo. Es una herramienta esencial diseñada para que productores y técnicos fortalezcan el nivel tecnológico del cultivo y aseguren la sanidad de sus plantaciones.



AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria



correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (+57) 601 914 4677

www.agrosavia.co
Distribución gratuita
Prohibida su venta