

**Factores que determinan la incidencia de *Phytophthora palmivora* en sistemas productivos
de cacao del municipio de Algeciras Huila**

Valentín Murcia Torrejano

Asesor:

Guillermo Edmundo Caicedo Díaz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2024

Nota de aceptación

Firma de jurado

Firma de jurado

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a las personas que han sido parte fundamental en mi vida y durante el proceso formativo. A Dios, quien me bendice todos los días, me otorga salud, protección y me conduce día a día a ser una mejor persona.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación, tanto académica y los valores éticos desde la esencial del ser, por su apoyo incondicional.

A mis hijas Valentina Murcia Díaz y Valeria Murcia Diaz, que me impulsan día a día a seguir adelante, por ser el motor de mi vida; que, con su inconmensurable amor y ternura, me motiva en todos mis días. A mi esposa, quien ha creído en mí, por su paciencia, amor y apoyo infinito.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por ser mi guía en mi vida personal y académica, llenándome de sabiduría, tenacidad, salud y bendiciones para cumplir esta meta; como también de rodearme de personas especiales.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por brindarme la formación académica oportuna y de calidad para mi crecimiento personal y profesional.

Al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, en especial, al Centro de Formación Agroindustrial por brindarme las herramientas necesarias y de calidad para mi crecimiento profesional y humano.

Al Ingeniero MSc. Guillermo Edmundo Caicedo Díaz, quien me acompañó durante este proceso formativo y en el acompañamiento como director de trabajo de grado, por sus orientaciones y apoyo.

A la PhD, Claudia Mercedes Ordoñez Espinosa, a las MSc. Alexandra Cerón Endo, por aportar sus conocimientos para el fortalecimiento de mis capacidades y habilidades; así como, en la orientación y apoyo en el desarrollo temático del trabajo de grado.

A las MSc Andrea Melisa Vásquez Riascos y Leidy Machado Cuellar, por su apoyo incondicional en mi etapa profesional y personal, quienes compartieron sus conocimientos y amistad absoluta. Para ustedes, un gran reconocimiento de sinceros agradecimientos.

Resumen

El cacao es un cultivo tropical de alta importancia económica en pequeños y medianos productores; además de ser un producto de alto consumo a nivel mundial, de gran pertinencia económica, social y cultura, siendo el principal ingreso y sustento en la agricultura familiar. La diseminación de plagas y enfermedades en los sistemas productivos de cacao está condicionada por diversos factores como la variabilidad climática, limitada planificación de la estructura agroforestal y la baja gestión de prácticas de manejo integral del cultivo, que afectan considerablemente los rendimientos de producción y la calidad física y sensorial en la almendra de cacao. En este sentido, la prevalencia de *Phytophthora palmivora* en la cacaocultura colombiana se ha considerado como una enfermedad de importancia económica, afectando alrededor del 30% de la producción de cacao; por lo que se requiere de estrategias tecnológicas y de prácticas de manejo integral para reducir umbrales máximos de acción y periodos críticos del patógeno. En este contexto, se realizó una revisión bibliográfica en base de datos especializadas sobre los factores que determinan la incidencia de *Phytophthora palmivora* en sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila, con el propósito de proponer estrategias de manejo integrado y la adopción de tecnológicas eficientes para pequeños productores de la cadena de valor de cacao. De acuerdo con la revisión bibliográfica se resalta que las condiciones climáticas como la temperatura atmosférica y la humedad relativa presentan una correlación positiva en la proliferación de *Phytophthora palmivora* en los modelos productivos de cacao; que sumado a las inadecuadas prácticas de manejo del cultivo potencializan la expresión del patógeno, reduciendo la productividad y la rentabilidad económica.

Palabras clave: Modelo productivo, Variabilidad climática, enfermedades, Productividad.

Abstract

Cocoa is a tropical crop of high economic importance for small and medium producers; In addition to being a product of high consumption worldwide, of great economic, social and cultural relevance, being the main income and sustenance in family farming. The spread of pests and diseases in cocoa production systems is conditioned by various factors such as climate variability, limited planning of the agroforestry structure and poor management of comprehensive crop management practices, which considerably affect production yields and quality. physical and sensory in the cocoa kernel. In this sense, the prevalence of *Phytophthora palmivora* in Colombian cocoa farming has been considered a disease of economic importance, affecting around 30% of cocoa production; Therefore, technological strategies and comprehensive management practices are required to reduce maximum action thresholds and critical periods of the pathogen. In this context, a bibliographic review was carried out based on specialized data on the factors that determine the incidence of *Phytophthora palmivora* in cocoa production systems in the municipality of Algeciras Huila, with the purpose of proposing integrated management strategies and the adoption of technological efficient for small producers in the cocoa value chain. According to the bibliographic review, it is highlighted that climatic conditions such as atmospheric temperature and relative humidity present a positive correlation in the proliferation of *Phytophthora palmivora* in cocoa production models; which, added to inadequate crop management practices, potentiate the expression of the pathogen, reducing productivity and economic profitability.

Keywords: Production model, Climate variability, Diseases, Productivity.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 11 |
| Planteamiento del problema..... | 14 |
| Justificación | 16 |
| Objetivos..... | 18 |
| Objetivo General | 18 |
| Objetivos Específicos..... | 18 |
| Marco Referencial..... | 19 |
| Morfología y Taxonómica del Cacao | 20 |
| Contexto del Cacao en Colombia..... | 21 |
| Contexto del Cacao en el Huila..... | 22 |
| Cacao Bajo Estructura Agroforestal | 22 |
| <i>Phytophthora</i> spp. | 23 |
| Síntomas del Género <i>Phytophthora</i> | 24 |
| Metodología | 26 |
| Resultados y Análisis | 27 |
| Requerimientos Edafoclimáticos Para el Cultivo de Cacao..... | 27 |
| Temperatura..... | 27 |
| Altitud..... | 28 |
| Relieve..... | 28 |
| Precipitación..... | 29 |
| Humedad relativa | 29 |
| Radiación solar | 30 |

| | |
|--|----|
| Viento | 30 |
| Factores que favorecen la incidencia de <i>Phytophthora palmivora</i> Butler en sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila. | 32 |
| Condiciones climáticas | 32 |
| Edad del cultivo | 33 |
| Altitud..... | 33 |
| Tipología de suelos | 33 |
| Prácticas de manejo agronómico | 33 |
| Variedades y/o cultivares de cacao | 34 |
| Condiciones Climáticas del Municipio de Algeciras-Huila | 34 |
| Establecer estrategias de manejo agronómico y tecnológico para el control de <i>Phytophthora palmivora</i> sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras, Huila. | 35 |
| Recolección y/o remoción de mazorcas enfermas..... | 36 |
| Prácticas culturales de manejo integrado del cultivo..... | 36 |
| Control biológico y/o adopción de prácticas biotecnológicas | 37 |
| Materiales vegetales tolerantes | 38 |
| Control químico | 38 |
| Conclusiones..... | 40 |
| Recomendaciones | 41 |
| Referencias..... | 42 |

Listas de Tablas

Tabla 1. *Clasificación taxonómica del cacao* 21

Tabla 2. *Requerimiento edafoclimático para el cultivo de cacao* 31

Listas de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. <i>Ubicación geográfica del municipio de Algeciras Huila</i> | 35 |
|---|----|

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es originario de la cuenca amazónica que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú y Brasil (Richardson et al., 2015; Adeniyi et al., 2019) y se ha desarrollado bajo condiciones de sotobosques (Motamayor et al., 2008; Suárez-Salazar, 2018; Jaimes-Suárez et al., 2021). En Colombia, el cultivo de cacao se constituye como un modelo de agricultura competitiva para pequeños y medianos productores (Cely-Torres, 2017; Hernández-Núñez et al., 2022; Suárez et al., 2022); se consolida como uno de los cultivos de mayor pertinencia económica y social, después del café (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Minagricultura, 2019).

El cacao que se produce en Colombia es reconocido a nivel internacional por su alta calidad y es catalogado como de fino y de aroma (ICCO, 2023). La producción de cacao seco para el año 2022 fue de 62.158 toneladas presentando una reducción del 10% respecto al año 2021; siendo el departamento de Santander el mayor productor de cacao seco con 22.899 ton, seguido de Arauca y Antioquia con 10.520 ton y 5.188 respectivamente. El departamento del Huila se posiciona en el quinto lugar con una producción de 3.518 toneladas y una participación nacional de 5.7% (FEDECACAO, 2023); sin embargo, el Huila posee características únicas de sabor y aroma, las cuales se le atribuye al tipo de material genético y a las condiciones edafoclimáticas, por lo que se le otorga distinción de cacao fino y de aroma (Muñoz-Alvarez, 2020).

A pesar de la importancia económica y social en la agricultura campesina y familiar, el rendimiento del cacao es bajo, de lo cual el rendimiento promedio es de 450 kg ha⁻¹ (FEDECACAO, 2023). Esta situación radica a diversas problemáticas en el modelo productivo de cacao, como lo son especialmente, la prevalencia de enfermedades como *Moniliophthora*

roreri y *Phytophthora spp*; que en esta última puede ocasionar pérdidas hasta el 30% de la producción (Rodríguez-Polanco & Vera, 2015; Ramírez Gil, 2016; Ramírez-Chamorro et al., 2020) e incluso el 100% del rendimiento productivo bajo unas condiciones ambientales favorables e inadecuadas prácticas de manejo agronómico (Rodríguez-Polanco et al., 2020).

Se ha reportado diversas especies del género *Phytophthora* que causan la pudrición parda en la mazorca de cacao. La especie *P. palmivora* Butler se distribuye ampliamente a nivel mundial; causando manchas necróticas de color marrón pardo en los frutos y en los tejidos vegetativos en las plántulas de vivero; así como, pudrición en las almendras y chancros en el tallo (Rodríguez-Polanco et al., 2020); *P. megakarya* Brasier y Griffin ha sido reportada en el continente africano, caracterizado como el patógeno de mayor importancia económica (Rodríguez-Polanco et al., 2020); *P. capsici* Leonian y *P. citrophthora* Leonian se caracteriza en Centro América, sur América y África (Marelli et al., 2019) provoca muerte del árbol, chancro en el tallo y lesiones necróticas en los frutos y granos; por último, *P. hevea* Thompson se reporta en Malasia y México cuyos síntomas se asemejan a *P. palmivora* pero su reproducción, ciclo ecológico y caracteres genéticos difieren entre sí (Adeniyi et al., 2019; Torres-de la Cruz et al., 2023).

En este sentido, se identifican que los síntomas principales de *Phytophthora palmivora* en fase de vivero y/o plántulas se evidencian manchas necróticas de color grisáceo, chancro del tallo y mancha foliares en árboles adultos, manchas necróticas en el epicarpio de la mazorca del cacao y pudrición de los granos de cacao (Guest, 2007); específicamente en variedades susceptibles a la pudrición parda del cacao como los clones Colección Castro Naranjal - CCN 51 y Imperial Collage Selection - ICS 95 (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA] (2023). Es por ello, que se plantea como pregunta de investigación ¿Qué

factores determinan la incidencia de *Phytophthora palmivora* en cultivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila?

Con base a lo anterior, en el presente documento se desarrolla tres fases, así: en el capítulo 1 se expone los requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de cacao; en el capítulo 2, se resalta los factores que favorecen la incidencia de *Phytophthora palmivora* Butler en sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila; en el capítulo 3, se presentan las condiciones climáticas del municipio de Algeciras Huila; en el capítulo 4, se relaciona las estrategias de manejo agronómico y tecnológico para el control de *Phytophthora palmivora* sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras, Huila.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la incidencia de *Phytophthora palmivora* en sistemas productivos de cacao del municipio de Algeciras Huila, a partir de una revisión bibliográfica y sistemática en base de datos especializadas para desarrollar estrategias de manejo integrado de cultivo para el fortalecimiento de la cadena de valor de cacao.

Planteamiento del problema

En los últimos años, el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) ha tenido una gran relevancia e importancia en Colombia, debido al aumento de áreas cultivadas para la sustitución de cultivo ilícitos y al compromiso de exportación de cacao diferenciado por parte del gobierno Nacional (Sandoval et al., 2020). El cacao de origen Huila es reconocido a nivel internacional por su diferenciación y distintivo propio de fino y de aroma (atributo sensorial), caracterizado por notas cítricas delicadas, frutales, nueces, cálida dulzura y sabor suave típico de cacao (LUKER, 2022); cuya expresión de atributos sensoriales están influenciados por las prácticas de manejo oportunas en la cosecha y poscosecha (Machado-Cuellar et al., 2018).

Los bajos rendimientos, la escasa asistencia técnica y la falta de adopción tecnológica, son los principales retos que enfrentan el sector cacaotero en el Huila. Actualmente, la producción promedio de grano de cacao seco es de 417 kg/ha/año (FEDECACAO, 2022), por lo que se requiere alrededor de 800 kg/ha/año para que sea considerado como un cultivo rentable (Vinces et al., 2015). En este sentido, las principales causas de la baja productividad están relacionadas por el inadecuado manejo del cultivo, los problemas fitosanitarios y la variabilidad climática, considerados factores importantes en la respuesta productiva del cultivo de cacao (Palacios-Bejarano et al., 2021).

Aunque el grano de cacao en el departamento del Huila es considerado como un cacao fino y de aroma, con características sensoriales de alta calidad, existe una problemática fitosanitaria por *Phytophthora* spp, categorizada como una enfermedad de importancia económica en el cultivo de cacao (Gobernación del Huila, 2022), cuyo potencial de daño limita la producción y afectación en la calidad física y sensorial en los granos de cacao (Ramírez Gil, 2016; Puig et al., 2021). Así mismo, existe una baja disponibilidad de tecnologías y de

estrategias de manejo integral para minimizar la incidencia y daños económicos afectados por la pudrición de la mazorca negra en el departamento del Huila. Estas prácticas de manejo de *Phytophthora* spp cultivo en el Huila están relacionada con la baja recolección de mazorcas enfermas, el uso de materiales vegetales tolerantes, el inadecuado diseño del Sistema Agroforestal – SAF, la fertilización desequilibrada, la proyección de sombra y el uso excesivo de productos de alta energía y combustión (Rodríguez-Polanco et al., 2020).

Justificación

En Colombia, el cacao es considerado un cultivo de pertinencia agrícola y es la base fundamental en la economía de pequeños y medianos productores (Hernández-Núñez et al., 2022; MADR, 2021; Pabón et al., 2016); reconocido a nivel mundial por su alta calidad de cacao fino y de aroma (ICCO, 2023). No obstante, la incidencia de plagas y enfermedades limita la producción y afecta la calidad física y sensorial (Ramírez-Chamorro et al., 2020).

En el Huila, la incidencia por *Phytophthora* spp ha sido considerado un tema de interés en los sistemas productivos de cacao, causando alrededor del 30% de pérdidas en el rendimiento de la producción; además, en la incidencia del perfil sensorial de la almendra de cacao; generando sabores atípicos como sobre fermentados, cuero, putrefacto, alta astringencia y amargor (Rodríguez-Polanco & Vera, 2015; Ramírez-Gil, 2016). Para reducir estas brechas (baja productividad, problemas fitosanitarios, baja calidad del grano y variabilidad climática) en los cultivos de cacao del Huila, es fundamental implementar y/o adoptar el uso de prácticas de manejo integral eficientes y tecnológicas en la trazabilidad de la cadena valor del cacao, con el propósito de fortalecer los sistemas productivos de cacao, aumentando los rendimientos productivos y la generación de valor agregados en los procesos de cosecha y poscosecha.

En este sentido, el departamento del Huila a través de las políticas de competitividad y productividad ha priorizado esta importante cadena productiva, en donde busca generar avances que incrementen, mantengan o mejoren los niveles de productividad, comercialización y calidad del grano de cacao, con el fin de llegar a un posicionamiento de este producto en mercados internacionales, buscando el bienestar social y económico de los productores de cacao (Cámara de comercio de Neiva, 2019).

Estas políticas están articuladas con el plan de desarrollo departamental, "Huila crece" 2020-2023 donde tiene como propósito fomentar el desarrollo, la transferencia tecnológica e innovación, direccionando acciones en pro de dar respuesta a las demandas de formación, investigación y tecnología como estrategia de mejoramiento de los procesos productivos, además busca desarrollar protocolos que aseguren la inocuidad de productos agroalimentarios, adoptar herramientas tecnológicas de manejo integrado para potencializar los sistemas de productivos de cacao; así como a la generación de ingresos, de esta manera fortalecer la cadena de cacao, con productos diferenciados, orientado a los pequeños y medianos productores (Gobernación del Huila, 2019).

En este contexto, el presente documento pretende dar respuesta a las necesidades y problemáticas del sector cacaotero del municipio de Algeciras Huila, por la baja productividad en los sistemas productivos de cacao afectado por *Phytophthora* sp; con lo cual, se busca documentar información relevante para el mejoramiento de la cadena de valor de cacao.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la información recopilada más relevante de la revisión bibliográfica sobre la incidencia de *Phytophthora palmivora* en sistemas productivos de cacao del municipio de Algeciras Huila

Objetivos Específicos

Identificar los efectos de la incidencia por *Phytophthora palmivora* en la respuesta productiva y vegetativa del cacao

Establecer estrategias de manejo agronómico y tecnológico para el control de *Phytophthora palmivora* sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras, Huila.

Marco Referencial

El cacao (*Theobroma cacao* L.) considerado como un cultivo de gran importancia económica a nivel mundial y la materia prima esencial para la elaboración de chocolate (Zhao & Fleet, 2015; Sotomayor-Parian & Soto-Cordova, 2018) además de ser la principal fuente de ingresos para pequeños y medianos productores (Afoakwa et al., 2011; Henao-Arismendy, 2015; Cardona-Velásquez et al., 2016). Actualmente, se distingue tres cultivares de cacao comúnmente reconocidos: criollo, forastero y trinitario (Bartley, 2005; Motamayor et al., 2008; Afoakwa et al., 2011; Beg et al., 2017). En este sentido, cada cultivar presentan características particulares en cuanto a la forma de los frutos, número de semillas, productividad, sabor y tolerancia a plagas y enfermedades (Afoakwa et al., 2008; Afoakwa et al., 2010; Adeyeye et al., 2010).

El cultivar criollo es originario de América del Sur y Centro América, considerado como un cacao fino y de aroma, con características organolépticas de sabor medio, notas aromáticas y florales (Beg et al., 2017); sin embargo, su producción es baja debido a la susceptibilidad por plagas y enfermedades (Kongor et al., 2016). El forastero domina la producción mundial de granos de cacao (Saltini et al., 2013) caracterizada por su alta productividad y tolerantes a plagas y enfermedades (Lima et al., 2011); a su vez, distinguida comúnmente como cacao a granel y/o ordinario por sus atributos sensoriales poco aceptable en el mercado (Kongor et al., 2016; ICCO, 2023). El trinitario resulta el cruce entre criollo y forastero; con sabores intermedios (Machado-Cuellar et al., 2018). Tanto la variedad criolla y trinitaria tiene denominación de cacao finos y de aroma, con una participación mundial inferior al 5% (ICCO, 2023).

La producción y calidad del grano de cacao depende de diversos factores como el genotipo, la variedad, condiciones agroecológicas, propiedades edáficas, manejo agronómico (fertilización – control de plagas y enfermedades), donde las prácticas de manejo integral del

cultivo de manera oportuna expresan el potencial productivo de cada cultivar: a su vez, las prácticas de cosecha y poscosecha contribuyen a las características únicas o indeseables en la calidad física y sensorial del grano de cacao (da Mota et al., 2020; Santander-Muñoz et al., 2020). Dependiendo de las características únicas del cacao se da como resultado una ventaja significativa, debido al creciente interés en los mercados especializados (Febrianto & Zhu, 2022).

Un aspecto que limita la producción de cacao y que afecta la calidad física y sensorial es la incidencia de plagas y enfermedades (Olujide & Adeogun, 2006; Blaser et al., 2017; Antolínez-Sandoval et al., 2020). Dentro de las plagas y enfermedades de importancia económica que afectan el cultivo de cacao se destacan la *Phytophthora*, *Moniliasis* y perforadores del fruto (Carmenta negra y amarilla) (Andres et al., 2017; Jaimes-Suárez et al., 2021). Hoy en día, la prevalencia de *Phytophthora* en cacao limita alrededor entre el 30 al 80% de la producción (Rodríguez Polanco y Vera, 2015; Ramírez-Gil, 2016; Ramírez-Chamorro et al., 2020) y una variabilidad en los perfiles químicos en el grano de cacao, perturbando los atributos sensoriales que durante el proceso de beneficio se desarrollan (Febrianto & Zhu, 2022).

Morfología y Taxonómica del Cacao

El cacao considerado como especie de mayor importancia económica del género *Theobroma*. Es un cultivo perenne tropical originario bosque húmedos tropicales de la cuenca amazónica (Motamayor et al. 2008), que pertenece a la familia *Sterculiaceae*, subfamilia *Malvaceae* (Guiltinan et al. 2007).

Tabla 1*Clasificación taxonómica del cacao*

| | |
|-------------|----------------------|
| Reino | <i>Plantae</i> |
| Phylum | <i>Magnoliophyta</i> |
| Clase | <i>Magnoliopsida</i> |
| Sub-clase | <i>Dilleniidae</i> |
| Orden | <i>Malvales</i> |
| Familia | <i>Sterculaceae</i> |
| Sub-familia | <i>Malvaceae</i> |
| Género | <i>Theobroma</i> |

Fuente. Llorente-Bousquets & Ocegueda (2008).

Contexto del Cacao en Colombia

En Colombia, el cultivo de cacao se constituye como un modelo de agricultura competitiva para pequeños y medianos productores (Cely-Torres, 2017; Hernández-Núñez et al., 2022; Suárez et al., 2022); consolidándose como unos de los cultivos de mayor pertinencia económica, después del café (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Minagricultura, 2019). Para el año 2022, la producción de grano de cacao seco en Colombia fue 62.158 toneladas, presentando una reducción del 10% respecto a la producción del año 2021; a su vez, disminuyeron las exportaciones de cacao en grano en un 50, %; pero incrementó en la transformación de producto agroindustrial en un 21% (FEDECACAO, 2023)

El departamento del Huila se posiciona en el quinto lugar con una producción de 3.518 toneladas y una participación nacional de 5.7% (FEDECACAO, 2023); sin embargo, el Huila posee características únicas de sabor y aroma, las cuales se le atribuye al tipo de material

genético y a las condiciones edafoclimáticas, por lo que se le otorga distinción de cacao fino y de aroma (Muñoz-Alvarez, 2020).

Contexto del Cacao en el Huila

En el departamento del Huila, la relevancia del sector cacaotero tiene un impacto fundamental en el desarrollo social y económico; caracterizada como una apuesta productiva importante y exportable en la región, por su alta calidad del grano como fino y de aroma, que lo hace atractivo y valorado en mercados internacionales (Gobernación del Huila, 2022). En el año 2022, el Huila se posicionó como el quinto mayor productor de cacao, con participación nacional del 5.7%, donde se produjo alrededor de 3.518 toneladas en un área sembrada de 7.000 ha, distribuidas en 35 municipios (FEDECACAO, 2023). Es importante resaltar, que la actividad productiva del sector cacaotero en el Huila, se benefician alrededor de 3.300 familias, caracterizado por 2.606 productores, de las cuales 736 son de género femenino (Gobernación del Huila, 2022).

Cacao Bajo Estructura Agroforestal

La prevalencia de plagas y enfermedades limita la producción en los sistemas productivos de cacao. Los sistemas agroforestales, se caracterizan por el asocio de especies leñosas favoreciendo la dinámica de crecimiento y desarrollo del cultivo (Ordoñez-Espinoza, 2019); sin embargo, son vistos tradicionalmente por los agricultores, como una de las causas del incremento de la incidencia de plagas y enfermedades, en contraste con los monocultivos a pleno sol. Se ha reportado que las prácticas de manejo cultural como la poda, regulación de árboles, la cosecha de vainas, la extracción de mazorcas infestadas el manejo de arvenses de media y alta interferencia; así como, el diseño oportuno del SAF, son cruciales para el manejo de plagas y enfermedades (Armengot et al., 2020).

***Phytophthora* spp.**

La clasificación taxonómica se distribuye de la siguiente manera; Las especies de *Phytophthora* causantes de la mazorca parda en cacao se encuentran agrupadas así: reino: *Chromista* (=Stramenopila); división: *Oomycota* (mohos acuáticos); subdivisión: *Mastigomicotina*; clase: *Phycomycetes*; subclase: *Oomycetes*; orden: *Peronosporales*; familia: *Pythiaceae*; género: *Phytophthora* (Rodríguez Polanco y Vera, 2015). Muchas especies de *Phytophthora*, incluidas las que atacan al cacao, tienen una fase transmitida por el suelo en sus ciclos de vida (Ristaino & Gumpertz, 2000), aunque la expresión de la enfermedad a menudo ocurre en las partes aéreas de la planta. La importancia de esta fase transmitida por el suelo difiere según la especie (Rodríguez-Polanco et al., 2020). En muchos casos, los esporangios o zoosporas liberados por los esporangios son las unidades infecciosas primarias que se dispersan del inóculo que ha sobrevivido a condiciones desfavorables (por ejemplo, el invierno o una estación seca) y son responsables de infecciones primarias. Posteriormente, repetidos ciclos asexuales de producción de esporangios y dispersión de esporas están involucrados en la diseminación secundaria para muchas especies de *Phytophthora* (Ristaino y Gumpertz 2000).

La podredumbre negra o pudrición parda de *Theobroma cacao* L. causada por varias *Phytophthora* spp., está presente en todas las regiones donde se cultiva cacao (Rodríguez-Polanco y Vera, 2015). La implicación de *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butler, *P. megakarya* Brasier & Griffin y *P. capsici* Leonian ha sido ampliamente documentada (Kroon et al., 2012; Bailey et al., 2016). Se han reportado otras especies de *Phytophthora* que afectan el cultivo de cacao, pero su impacto está menos definido (Surujdeo-Maharaj et al., 2016). *Phytophthora tropicalis* es una especie relativamente reciente (Aragaki & Uchida, 2001) que se encuentra en el cacao e incluye

aislamientos originalmente clasificados como *P. capsici* y aislamientos que han sido reclasificados de *P. palmivora* MF4 (Aragaki y Uchida, 2001, Surujdeo-Maharaj et al., 2016).

Síntomas del Género *Phytophthora*

Los principales síntomas que manifiesta el cultivo del cacao, una vez infectado por alguno de estos patógenos son: quemaduras en diferentes órganos de la planta, úlceras malignas del tallo y la pudrición negra del fruto. Las mayores pérdidas ocurren cuando la enfermedad afecta al fruto, provocando pudriciones del 30% de las bellotas y la muerte de hasta el 10% de las plantas anualmente (Kroon et al., 2012).

La infección por *Phytophthora* puede ocurrir en cualquier parte del fruto y en cualquier etapa de su desarrollo, pero, por lo general, se observa en los extremos de la mazorca, área donde se acumula más agua, y en frutos maduros, que son los más susceptibles (Rodríguez-Polanco y Vera, 2015). Los primeros síntomas de la enfermedad se desarrollan bajo condiciones de alta humedad y se manifiestan aproximadamente a las 30 horas después de ocurrida la infección mediante pequeñas manchas en la superficie de los frutos de apariencia acuosa, lesiones necróticas de color café pardo, se desarrollan rápidamente y en condiciones de alta humedad entre 3 y 5 días después de la aparición de los primeros síntomas (Rodríguez-Polanco y Vera, 2015; Rodríguez-Polanco et al., 2024). Sobre la superficie de la lesión se puede observar la presencia de un crecimiento pulverulento poco denso formado por el micelio y los esporangios del hongo (Kroon, et al., 2012; Rodríguez-Polanco & Vera, 2015; da Silva et al., 2022).

La lesión avanza en su interior a la misma velocidad que progresa la lesión externa, de crecimiento rápido que llega a cubrir la totalidad de la superficie del fruto y los tejidos internos, incluyendo los granos, en un periodo aproximado de 10 a 14 días (Rodríguez-Polanco & Vera, 2015). El borde de la lesión avanza aproximadamente 12 mm por día y se caracteriza por tener

límites bien definidos. En frutos de más de tres meses, las infecciones generalmente inician en la punta o en el pedúnculo de la mazorca; y al ser infectada, también se asocia con un fuerte olor a pescado (Drenth y Guest 2004; citados por Rodríguez-Polanco & Vera, 2015; Rodríguez-Polanco et al., 2021).

Metodología

Para el desarrollo de esta monografía se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos especializadas de Science Direct, Scopus, Scielo, Web of Science y Google Scholar, empleando ecuaciones de búsqueda “*Phytophthora palmivora*” AND “*Theobroma cacao*”, “Incidence” AND “*Phytophthora palmivora*” AND “*Theobroma cacao*” y management strategies AND (Cocoa), obteniendo información científica basados en los resultados de investigaciones de universidades, entidades públicas y privadas; así como la cadena de valor de cacao a partir del año 2013 hasta 2023. En este sentido, la revisión literaria está dirigida a los modelos productivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila en el contexto de una cacaocultura resiliente, tecnificada y eficiente para el fortalecimiento de la productividad y la competitividad.

Resultados y Análisis

Actualmente, el municipio de Algeciras Huila se caracteriza como el primer municipio en la producción de cacao orgánico; no obstante, los sistemas de producción de cacao se basan en modelos tradicionales y con baja adopción tecnológica para el establecimiento del cultivo (Cerón-Endo, 2023; Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM], 2023). La productividad del cacao depende de una serie de procesos agronómicos que deben gestionarse de manera oportuna en función con la fenología de la planta; y, a su vez, con las condiciones intrínsecas y extrínsecas como lo son: la oferta ambiental, el cultivar y/o variedad, propiedades edáficas, estrategias de manejo agronómico y el diseño agroforestal.

Requerimientos Edafoclimáticos Para el Cultivo de Cacao

El cultivo de cacao demanda de condiciones agroecológicas específicas que favorezcan su buen desarrollo y desempeño morfo-fisiológico. Los requerimientos edafoclimáticos para establecer el cultivo se dividen en zonas aptas y no aptas. Estos aspectos son determinantes tanto para la toma adecuada de decisiones al momento del establecimiento del sistema productivo; así como, en el desarrollo óptimo de las plantas y su productividad (Jaimes-Suarez et al., 2022). Estos factores edafoclimáticos como la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la humedad relativa y los vientos ejercen una influencia significativa en la producción y calidad del cacao (Rojas & Sacristán, 2013).

Temperatura

La planta de cacao requiere de condiciones específicas para su buen desempeño fisiológico y productivo. Estudio por García et al. (2007) reportó tres categorías dentro del rango de temperatura ideal, que oscila entre 18 y 32 °C. Las zonas sumamente aptas y/o favorables para el cultivo (A1) se sitúan entre los 24 y 28 °C. Las zonas moderadamente aptas abarcan un rango

entre 20 y 24 °C, así como entre 28 y 30 °C. Las zonas marginalmente aptas (A3) experimentan temperaturas entre 18 y 31 °C, mientras que las zonas no aptas (N) presentan temperaturas por debajo de 18 °C o por encima de 32 °C.

Respecto al desempeño fisiológico de la planta de cacao las condiciones ideales se encuentran en un rango de temperatura entre 31 y 33 °C. Dentro de este intervalo, se promueve un aumento en la conductancia estomática y la transpiración (Ramírez-Chamorro et al., 2020). Temperaturas superiores a 34 °C y por debajo de 20 °C resultan desfavorables para las plantas, disminuyendo el intercambio de gases, afectando significativamente la productividad (Lahive et al., 2021). Carr & Lockwood (2011) recomienda que para el establecimiento del cultivo de cacao la temperatura media anual y la temperatura media mínima diaria no sean inferiores a 22 °C y 15 °C respectivamente.

Altitud

Estudio realizado por García et al. (2007) proporcionó una caracterización detallada y una zonificación de las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Colombia; donde el rango altitudinal adecuado para el desarrollo del cacao abarca desde los 0 hasta los 1.200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). En base a esta altitud, se establecieron diferentes tipologías: las zonas sumamente aptas (A1), que se encuentran entre los 400 y 800 m.s.n.m; las zonas moderadamente aptas (A2), que abarcan altitudes entre 0 y 400 m.s.n.m, así como entre 800 y 1000 m.s.n.m; las zonas medianamente aptas (A3), que se sitúan entre los 1000 y 1200 m.s.n.m; y las zonas no aptas (N), que superan los 1200 m.s.n.m.

Relieve

El establecimiento del cultivo de cacao debe realizarse en pendientes inferiores al 50%. Pendientes que superan el 50% dificultan no solo el establecimiento del cultivo, sino también las

prácticas agronómicas como el manejo fitosanitario, la fertilización, la poda y la cosecha.

Además, los cultivos establecidos en pendientes muy pronunciadas enfrentan un alto riesgo de erosión durante los primeros estados de desarrollo (García et al., 2007).

Precipitación

Las condiciones ideales de precipitación anual para el cultivo de cacao varían entre 1.500 y 3.800 mm, sin embargo, el rango óptimo para su desarrollo se sitúa entre 1.800 y 2.600 mm por año (Pinzón et al., 2008). García et al. (2007) clasificó las zonas de aptitud para el cultivo de cacao de la siguiente manera: las zonas sumamente aptas (A1) presentan precipitaciones entre 1.800 y 2.600 mm al año; las zonas moderadamente aptas (A2) tienen precipitaciones entre 1.200 y 3.800 mm al año; las zonas marginalmente aptas (A3) están en el rango de 1.500 a 3.800 mm al año; y las zonas no aptas (N) experimentan precipitaciones superiores a 3.800 mm al año y menores de 1.200 mm al año.

Es importante destacar que cuando las precipitaciones son inferiores a 1.200 mm anuales, no satisfacen las necesidades hídricas de las plantas de cacao para la evapotranspiración. Esta situación conduce a un déficit hídrico, lo que provoca una disminución tanto en el crecimiento vegetativo como en la productividad (Jaimes-Suarez et al., 2022).

Humedad relativa

El cultivo de cacao requiere de una humedad relativa entre 70 al 80%, condiciones que favorece el crecimiento y desarrollo óptimo de la planta (García et al., 2007). En zona de baja precipitación y altas temperaturas con humedad inferior al 60% es necesario implementar sistemas de riego, con el propósito de satisfacer la demanda hídrica en las plantas; y, en esta última, garantizar una productividad (Rojas & Sacristán, 2013)

Radiación solar

El cacao caracterizado como una planta umbrófila y cultivado bajo condiciones de sotobosques (Jaimes-Suarez et al., 2022) se desarrolla de manera adecuada en niveles de radiación entre 200 a 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Da Matta et al., 2001; Daymond et al., 2011; Almeida et al., 2014). Durante los dos primeros años de desarrollo vegetativo, las plantas requieren de una radiación solar de 300 a 400 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}^{-1}$, por lo que se debe proporcionar entre 50 y 70% de proyección de sombra, con un nivel de luz del 30%. Una vez iniciada la etapa productiva, la radiación solar óptima aumenta a 700-800 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}^{-1}$, con una proyección de luz entre el 60% y el 70%, y un nivel de sombra del 30% al 40% (Jaime-Suarez et al., 2022; Agudelo-Castañeda et al., 2018).

Viento

El cacao es susceptible a los vientos fuertes, especialmente en sus tejidos vegetales jóvenes, como las flores y las hojas, lo que genera estrés mecánico (Jaimes-Suarez et al., 2022). Autores como García et al. (2007) y Jaime-Suarez et al. (2022) mencionan que los vientos con velocidades entre 2.5 y 4.5 m/s durante más de tres horas pueden afectar la estructura vegetativa de la planta debido a los daños mecánicos causados por la constante exposición a los vientos; ocasionando la caída de los cojines florales y en una reducción de la tasa fotosintética, limitando múltiples funciones fisiológicas.

Tabla 2*Requerimiento edafoclimático para el cultivo de cacao.*

| Rasgos edafoclimáticos | Tipología de factores | | | |
|--|-----------------------------|--|---|--|
| | Sumamente | Moderadamente | Marginalmente | No apto |
| | apto (A1) | apto (A2) | apto (A3) | (N) |
| Altitud (msnm) | 800 – 400 | 0 – 400 y/u 800 – 1.000 | 1.000 – 1.200 | > 1.200 |
| Relieve (%) | < 25 | 25 – 50 | 50 – 75 | >75 |
| Temperatura promedio anual (°C) | 24 – 28 | 24 – 20 y/u 28 – 30 | 18 – 20 y/u 30 – 32 | <18 y >32 |
| Temperatura máxima y mínima (°C) | | | 38 y <9 | |
| Brillo solar ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) | | El cultivo de cacao en los dos primeros años requiere bajo niveles de radiación solar (300 – 400 y/u 700 a 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) | - | Alta nubosidad |
| Proyección de luz y sombra (%) | | Fase vegetativa en los primeros años, las plantas demandan aproximadamente un 30% de luz y 70% de sombra; posteriormente, requiere un 70% de luz y un 30% de sombra. | - | Alta nubosidad |
| Precipitación anual (mm/año) | 1.800 – 2.600 | 1.200 – 3.800 | 1.500 – 3.800 | <1.200 - >3.800 |
| Viento (m/s) | 1 – 2 | 3 | 4 | >5 |
| Drenaje del suelo | Modernamente o bien drenado | | Imperfecta o moderadamente excesivo drenado | Muy pobre, pobre o excesivamente drenado |

| | | | | |
|-----------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|------------|
| Profundidad efectiva (m) | >1.00 | 0.5 – 1.00 | 0.25 – 0.50 | <0.25 |
| pH | 5,5 – 6,5 | 5,0 – 5,5 o 6,5 – 7,0 | 4,5 – 5,0 o 7,0 – 8,0 | < 4 y/o >8 |

Fuente: García et al. (2007); Ramírez-Chamorro et al. (2020); (Jaimes-Suarez et al. 2022).

Factores que favorecen la incidencia de *Phytophthora palmivora* Butler en sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila.

Condiciones climáticas

La enfermedad por *Phytophthora palmivora* Butler se encuentra adaptada en condiciones geográficas de alta humedad relativa, cuyo potencial de daño se intensifican en épocas de alta precipitación; siendo consideradas estas variables como la de mayor importancia en la diseminación de la enfermedad (Rodríguez-Polanco y Vera, 2015). Estudio por Ramírez-Chamorro et al. (2020) menciona que existe una correlación positiva en zonas con alta humedad relativa y una baja temperatura, lo que favorece la presencia la pudrición en la mazorca de cacao. Autores como Rodríguez-Polanco y Vera (2015), Ali et al. (2017), Puig et al. (2018) y Lessa et al. (2020) indican que una humedad relativa mayor del del 95% y una temperatura promedio entre 18 a 20°C son condiciones propicias en el desarrollo de la enfermedad.

La precipitación considerada como un variable importante en el desarrollo y la dispersión de la pudrición en la mazorca de cacao, debido a la presencia de agua libre que favorece la esporulación, liberación y diseminación de los zoosporos; siendo estos los principales propágulos infectivos que son movilizados por el agua, diseminándoles fácilmente por el salpique de la gota de lluvia afectando los tejidos vegetativos como frutos y tallos en las plantas de cacao (Ramírez-Chamorro et al., 2020; Rodríguez-Polanco et al., 2024).

Edad del cultivo

Estudio por Ramírez-Gil (2016) en un seguimiento preciso a la enfermedad durante un periodo de tiempo prolongado en una finca cacaotera de Colombia, observó que la incidencia y la severidad estaba estrechamente influenciada en árboles de cacao con mayor estado de desarrollo (árboles de mayor edad).

Altitud

La incidencia, estimación y severidad por *Phytophthora palmivora* Butler está relacionada con la ubicación geográfica del modelo productivo de cacao asociada a la alta heterogeneidad, comprendidas en altitudes entre 1000 a 13000 metros sobre el nivel de mar; así como a la topografía de alta montaña (Ramírez-Gil, 2016); no obstante, Ramírez-Chamorro et al. (2020) y Rodríguez-Polanco et al. (2022) reportan que la incidencia de la pudrición parda del cacao puede ocurrir en alturas superiores a partir de los 800 msnm.

Tipología de suelos

Se considera que el hongo por *Phytophthora palmivora* Butler puede sobrevivir en el suelo por largos periodos de tiempo (Puig et al., 2018). Suelos con texturas arcillosas favorece el encharcamiento y al inadecuado drenaje del suelo, favoreciendo el exceso de la humedad por lo que aumentando la posibilidad de infestación en la plantación (Rodríguez-Polanco y Vera, 2015).

Prácticas de manejo agronómico

Dentro de las prácticas de manejo agronómico que inciden en la proliferación del inóculo por *Phytophthora palmivora* Butler se resalta el uso de herramientas de poda y cosecha; logrando infestar directamente a los árboles sanos (Drenth & Guest, 2004). Por otra parte, el control de insectos dentro del modelo productivo se constituyen una práctica esencial para minimizar la diseminación de la enfermedad (Drenth & Guest, 2004).

Variedades y/o cultivares de cacao

Estudio por Rodríguez-Polanco y Vera (2015), Ramírez-Chamorro et al. (2020) y Rodríguez-Polanco et al. (2021) reportaron que los clones CCN 51 y ICS 95 tiene una alta susceptibilidad a *Phytophthora palmivora* Butler; por lo que la adopción de estos cultivares en nuevas plantaciones de cacao en el territorio nacional y regional incrementa la incidencia de este patógeno en los modelos productivos con cacao.

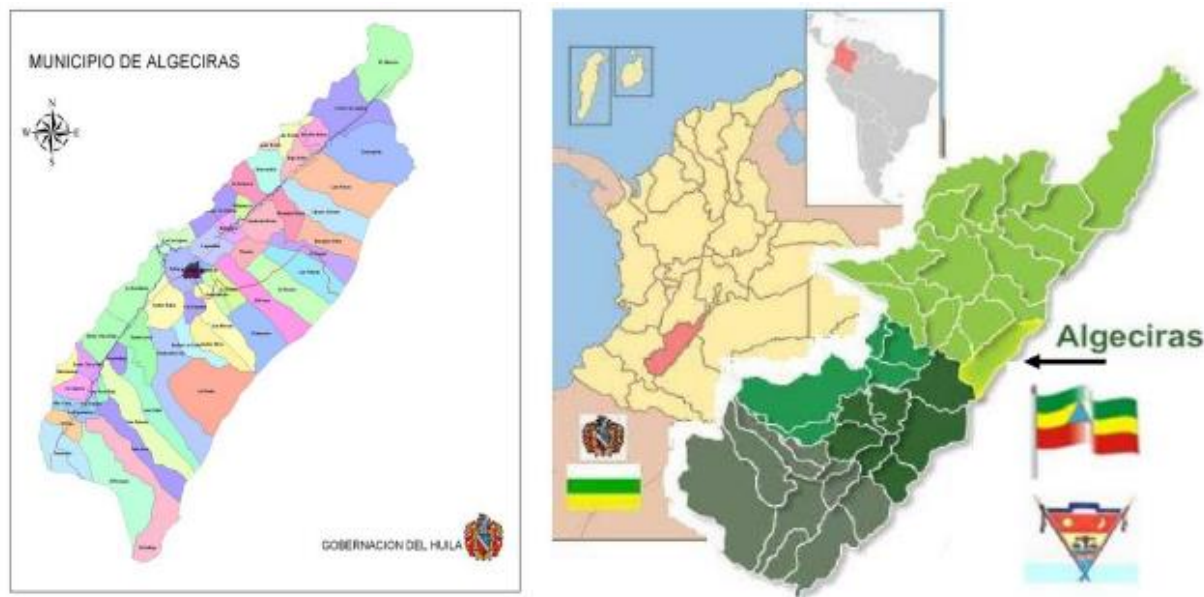
Condiciones Climáticas del Municipio de Algeciras-Huila

El municipio de Algeciras Huila se caracteriza por presentar una amplia diversidad de pisos térmicos; categorizados como clima cálido con una altitud comprendida entre 800 a 1000 msnm, representando el 12.7% del área con 9.81 Ha; clima templado, altitud entre 1000 a 1800 msnm; cuya área representa el 58.3% en el territorio (41.422 Ha); clima frio, altitud comprendida entre 1800 a 2400 msnm, con una distribución de 18.3% de área en el territorio (12.986 Ha); y, por último, zona de paramo, altitud mayor de 3000 msnm con una ocupación de área de 10.7% del territorio (7.609Ha) (Departamento del Huila y Alcaldía de Algeciras, 2013).

La temperatura promedio del municipio es de 25°C, alcanzando temperaturas máximas de 32 °C en la época seca, específicamente en la parte baja y temperaturas promedio de 20°C en la zona alta. La altitud es de 800 msnm hasta los 3000 msnm; cuya altitud en la cabecera municipal es de 1100 msnm. El régimen de precipitación es bimodal con intensidad de lluvias en los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre; con un acumulado de precipitación promedio anual de 1420 mm (Departamento del Huila y Alcaldía de Algeciras, 2013).

Figura 1

Ubicación geográfica del municipio de Algeciras Huila.



Fuente. Departamento del Huila y Alcaldía de Algeciras (2013)

Establecer estrategias de manejo agronómico y tecnológico para el control de *Phytophthora palmivora* sistemas productivos de cacao en el municipio de Algeciras, Huila.

La prevalencia de *Phytophthora palmivora* en el cultivo de cacao está condicionada por las condiciones climáticas como la temperatura, la precipitación y la humedad relativa; así como, las prácticas de manejo agronómico y la proyección de sombra (estructura agroforestal); lo que afecta considerablemente los rendimientos productivos (Lau et al., 2013) y la calidad del grano de cacao (Saltini et al., 2013; Santander-Muñoz et al., 2020); siendo un tema de interés en el departamento del Huila (Ordoñez-Espinosa, 2019), y, en especial, para las familias cacaoculturas del municipio de Algeciras.

Ante esta situación, se deben proponer estrategias de manejo agronómico y adopciones tecnológicas para mantener los niveles bajos de afectación de la pudrición parda en el cultivo de cacao; con el objetivo de promover la productividad y la competitividad en los sistemas

productivos de cacao del municipio de Algeciras Huila, impulsando la rentabilidad económica del cultivo.

Dentro de las estrategias de manejo agronómico y de adopción tecnológica se considera las siguientes prácticas para el modelo productivo de cacao en el municipio de Algeciras.

Recolección y/o remoción de mazorcas enfermas

Dentro de las estrategias de manejo integrado de la pudrición parda en cacao se centra en la detección temprana de los síntomas visibles en las frutas enfermas y su pronta remoción durante cada semana. Esta práctica tiene como objetivo prevenir la propagación del hongo causante y reducir la cantidad de esporangios, que son la forma de propagación del patógeno dentro del cultivo. De esta manera, se busca minimizar la contaminación de los frutos en formación y/o desarrollo (Rodríguez-Polanco et al., 2020).

Esta práctica se enfoca principalmente en resguardar la cosecha principal, con atención especial de los frutos maduros, dado que aquellos con más de tres meses de edad son los más susceptibles al desarrollo de la enfermedad (Rodríguez-Polanco et al., 2024). La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA] (2023) y Rodríguez-Polanco et al. (2024) sugiere que la remoción y/o recolección de mazorcas enfermas se debe realizar en horas de la mañana y cubrir los frutos enfermos con hojarasca, con el propósito de limitar la dispersión de estructuras reproductivas de la *Phytophthora palmivora* Butler.

Prácticas culturales de manejo integrado del cultivo

Para potencializar las prácticas de remoción de mazorcas enfermas en la reducción del daño económico ocasionado por la pudrición parda (*Phytophthora palmivora* xxx) se debe establecer una serie de procesos de manejo cultural del cultivo para generar condiciones

desfavorables para la diseminación y/o multiplicación del patógeno (Rodríguez-Polanco et al., 2024). Dentro de las prácticas de manejo cultural se resaltan las siguientes.

Poda de formación y mantenimiento: esta técnica favorece la circulación del aire, lo que reduce la humedad y ayuda a mantener una estructura adecuada del árbol, limitando su altura a un máximo de 3 metros, por lo que facilita la detección y eliminación de la fruta enferma.

Eliminación total de frutos enfermos, una vez culminada la cosecha: posibilita la disminución del inóculo o de las estructuras reproductivas del patógeno en la plantación.

Control frecuente de arvenses de alta y media interferencia: permite disminuir la humedad dentro del sistema productivo.

Desinfección de herramientas de poda y cosecha: reduce la multiplicación de las estructuras reproductivas del patógeno que se puede transmitir en árboles sanos.

Control biológico y/o adopción de prácticas biotecnológicas

La adopción de estrategias biotecnológicas se basa en la búsqueda y el empleo de microorganismos antagonistas endófitos, lo que presentan ventajas en términos de adaptación y persistencia para el control de la pudrición parda del cacao, ofreciendo características esenciales dentro del modelo de manejo integrado de esta enfermedad (Rodríguez-Polanco & Vera, 2015). Dentro de los agentes endófitos de control biológico se resalta el *Trichoderma* spp., *Penicillium funiculosum*, *Gliocladium* spp. y *Chaetomium globosum*, demostrando un efecto positivo en la supresión del crecimiento y desarrollo del hongo (Drenth y Guest 2004). Autores como Krauss & Soberanis (2001), Rodríguez-Polanco & Vera (2015) y Puig et al. (2018) mencionan que *Phytophthora palmivora* Butler es altamente susceptible a la acción de organismos biocontroladores; evidenciando un control efectivo al utilizar una combinación de varios organismos, incluyendo *Trichoderma* sp.

Materiales vegetales tolerantes

La selección de materiales tolerantes representa una estrategia a largo plazo que ha demostrado ser el método más económico y eficaz para el control de las especies de *Phytophthora* sp. (Surujeo-Maharaj et al. 2001). Se ha reportado que los genotipos amelonados de tipología de bajo y alto amazonas parecen mostrar una menor susceptibilidad al hongo en comparación con los materiales trinitario, por lo que han sido empleados ampliamente en los programas de fitomejoramiento (Rodríguez-Polanco & Vera, 2015). Arciniegas-Leal (2005) caracterizó árboles de cacao con potencial en los programas de mejoramiento genético, donde identificó que los cultivares de cacao como Pound-7, Catie-1000, CC-256, EET-59, EET-64, TSHN-812, SPA-5, SPA-11, SPA-17, UF-703, CC-124, EET-48, ICS-44, EET-250, CC-42, CC-38, CC-71, CC232 y UF-602 presentaron tolerancia a *Phytophthora palmivora*; asimismo, Rodríguez-Polanco & Vera (2015) mencionan que los clones IMC 67 y THS 665 presenta una clasificación de resistencia como medianamente susceptible (MS) y medianamente resistente (MR).

Control químico

Dentro del programa de manejo integrado de plagas y enfermedades esta técnica debe ser adoptada como última alternativa y/o cuando la presión de enfermedades en el cultivo es alta; siendo una técnica ampliamente empleada por los productores de cacao debido a su rápida y efectiva acción; frecuentemente se utilizan fungicidas a base de cobre (Rodríguez-Polanco y Vera, 2015); sin embargo, el uso de productos químicos a base de cobre presentan un valor económico elevado en el mercado, por lo que son inaccesibles en los pequeños productores cacaoteros (Rodríguez-Polanco et al., 2022).

Por su parte, La Corporación Colombina de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA] (2023) y Rodríguez-Polanco et al. (2024) mencionan que después de la remoción de las

mazorcas enfermas cada siete días se debe potencializar con la aplicación de productos de alta energía y combustión (síntesis química) en aspersión con bomba a motor, empleando productos potencializadores de fungicida a base de silicato de potasio en dosis de 100 ml/20 L, cuando el fruto tenga dos meses de desarrollo; fungicida preventivo Mancozeb 80% en una dosificación de 50 g/20 L cuando el fruto tenga alrededor de 3 a 3.5 meses de desarrollo fisiológico; y por último, se recomienda aplicar fungicida sistémico Fosetyl al 80 % en dosis de 100 gramos por 20 litros de agua, aplicado en la época de mayor susceptibilidad del fruto de cacao.

Respecto a las lesiones y/o cáncer del tallo se sugiere realizar aplicaciones con fungicidas sistémicos del grupo de Acilalaninas como Metalaxil al 0.25% de manera manual, con uso de brochas o hisopos sobre la parte afectada (Ong et al.,2019).

Conclusiones

El presente documento permite concluir que las condiciones edafoclimáticas que tiene mayor incidencia en la proliferación de *Phytophthora palmivora* Butler en el cultivo de cacao obedece a la temperatura atmosférica y la humedad relativa, que sumado a las inadecuadas prácticas de manejo agronómico como la fertilización, cosecha, podas de mantenimiento y formación, riego, tipología agroforestal y suelos potencializan la expresión del patógeno, limitando la productividad y la rentabilidad económica.

Es importante reconocer que para el establecimiento de los modelos productivos de cacao en el municipio de Algeciras Huila es pertinente analizar y/o conocer las condiciones edafoclimáticas de la zona, con el propósito de adoptar prácticas de manejo agronómico eficiente desde la selección del material vegetal, la variedad, el diseño agroforestal, orientación de siembra y las prácticas de manejo integrado del cultivo para promover la productividad y suprimir la prevalencia de la pudrición parda del cacao.

Las estrategias de manejo agronómico y tecnológicas asociadas al control de *Phytophthora palmivora* Butler en cacao concluye que la adopción de prácticas ecoeficientes y tecnológicas oportunas reduce la presión significativa del patógeno en un 50%, empleando una combinación y/o conjunto de prácticas agronómicas (culturales, biológicas, químicas, materiales vegetales tolerantes).

La gestión correcta en el esquema de manejo integrado para el control de *Phytophthora palmivora* Butler a partir de la recolección y/o remoción de mazorcas enfermas, podas de formación y mantenimiento, control de arvenses de alta y mediana interferencia permite incrementar los rendimientos productivos de los modelos productivos de cacao, la calidad física y sensorial; así como, la reducción de la población del patógeno dentro del sistema productivo.

Recomendaciones

Adoptar estrategias ecoeficientes y tecnológicas que permitan reducir la presión de la pudrición parda del cacao generado por las condiciones climáticas y las inadecuadas prácticas de manejo del cultivo.

Realizar procesos de transferencia tecnológica a pequeños y medianos productores para la adopción de prácticas ecoeficientes y tecnológicas para la cadena de valor de cacao en el municipio de Algeciras Huila, en aras, de promover la productividad y la competitividad en el territorio.

Se sugiere realizar revisiones bibliográficas en bases documentales para soportar periódicamente prácticas de manejo agronómico eficiente y tecnológicas para el control de plagas y enfermedades de importancia económica en la cadena productiva de cacao.

Referencias

- Adeniyi, D. (2019). Diversity of cacao pathogens and impact on yield and global production. *Theobroma Cacao-Deploying Science for Sustainability of Global Cocoa Economy*, 43-59.
- Adeyeye, E. I., Akinyeye, R. O., Ogunlade, I., Olaofe, O., & Boluwade, J. O. (2010). Effect of farm and industrial processing on the amino acid profile of cocoa beans. *Food chemistry*, 118(2), 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.127>
- Afoakwa, E. O., & Paterson, A. (2010). Cocoa fermentation: Chocolate flavour quality. *Encyclopedia of biotechnology in agriculture and food*, 457-468.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(9), 840-857. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., & Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(7), 755-764. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.581224>
- Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P. J., & Pinzón-Sandoval, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 223-232.
- Ali, S. S., Shao, J., Lary, D. J., Strem, M. D., Meinhardt, L. W., & Bailey, B. A. (2017). *Phytophthora megakarya* and *P. palmivora*, causal agents of black pod rot, induce similar

- plant defense responses late during infection of susceptible cacao pods. *Frontiers in Plant Science*, 8, 233294.
- Almeida, A. A. F., Gomes, F. P., Araujo, R. P., Santos, R. C., & Valle, R. R. (2014). Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. *Photosynthetica*, 52, 16-21.
- Andres, C., Gattinger, A., Dzahini-Obiatey, H. K., Blaser, W. J., Offei, S. K., & Six, J. (2017). Combatting cocoa swollen shoot virus disease: what do we know?. *Crop protection*, 98, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.010>
- Antolinez-Sandoval. E., Almanza-Merchán. P., Barona-Rodriguez. A., Polanco-Díaz. E., Serrano-Cely. P. (2020). Estado actual de la Cacaocultura: Una revisión de sus principales limitantes. *Revista Ciencia y Agricultura*. 17(2):1-11. DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n2.2020.10729>
- Aragaki, M., & Uchida, J. Y. (2001). Morphological distinctions between *Phytophthora capsici* and *P. tropicalis* sp. nov. *Mycologia*, 93(1), 137-145. <https://doi.org/10.1080/00275514.2001.12061285>
- Arciniegas-Leal, A. M. (2005). *Caracterización de árboles superiores de cacao (Theobroma cacao L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE].
- Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Velásquez, F., Hohmann, P., & Schneider, M. (2020). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop protection*, 130, 105047. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- Bailey, B. A., & Meinhardt, L. W. (Eds.). (2016). *Cacao diseases: a history of old enemies and new encounters*. Springer, p. 630.

- Bartley, B. G. (2005). The genetic diversity of cacao and its utilization. UK: CABI Publ, Wallingford, p 93. ISBN 0-85199-619-1
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa-A review. *Trends in food science & technology*, 66, 108-116.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>
- Cámara de comercio de Neiva. (2019). Agenda integrada de competitividad, ciencia, tecnología e innovación del departamento del Huila. 26 pág. Consultado en <https://ccneiva.org/wp-content/uploads/2019/07/Agenda-Integrada-CCTI-Huila.pdf>
- Cardona-Velásquez, L. M., Rodríguez-Sandoval, E., & Cadena-Chamorro, E. (2016). Diagnóstico de las prácticas de beneficio de cacao durante no estado de Arauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 94-104. ISSN: 1794-4449
- Carr, M. K. V., & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): a review. *Experimental agriculture*, 47(4), 653-676.
- Cely-Torres, L. A. (2017). Oferta productiva del cacao colombiano en el posconflicto. Estrategias para el aprovechamiento de oportunidades comerciales en el marco del acuerdo comercial Colombia-Unión Europea. *Equidad y Desarrollo*, 1(28), 167-195. ISSN 1692-7311.
- Cerón-Endo, A. (2023). Evaluación de la sostenibilidad de dos sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Algeciras, Huila. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio institucional - Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Cheesman, E. E. (1944). Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM. (2023). *Pasaron del cultivo de cacao tradicional al orgánico y hoy venden chocolatinas en Suiza*. Consultado el 18 de enero de 2024. Disponible en <https://www.cam.gov.co/prensa/blog/2023/09/12/pasaron-del-cultivo-de-cacao-tradicional-al-org%C3%A1nico-y-hoy-venden-chocolatinas-en-suiza/>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2023). Opciones tecnológicas para el manejo de Phytophthora en cacao. AGROSAVIA. Disponible en <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/1%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/cacao/recomendaciones-protocolos-y-metodolog%C3%ADas/579-opciones-tecnol%C3%B3gicas-para-el-manejo-de-phytophthora-en-cacao>

Cuatrecasas J (1964). Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contrib US Herbarium*, 35: 379–614.

Da Matta, F. M., Loos, R. A., Rodrigues, R., & Barros, R. S. (2001). Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 24-32.

da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International*, 136, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>

da Silva, N. J. A., Reis, S. P. M., Diorato, V. S., Rocha, J. S. A., Barbosa, C. S., Ciampi-Guillardi, M., ... & Gramacho, K. P. (2022). A molecular diagnostic for *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao, that differentiates it from its sister

- taxon *Moniliophthora roreri*. *Crop Protection*, 158, 106003.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106003>
- Daymond, A. J., Tricker, P. J., & Hadley, P. (2011). Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia plantarum*, 55, 99-104.
- Drenth, A., & Guest, D. I. (2004). Phytophthora in the tropics. *Diversity and management of Phytophthora in Southeast Asia*, 30-41.
- Febrianto, N. A., & Zhu, F. (2022). Composition of methylxanthines, polyphenols, key odorant volatiles and minerals in 22 cocoa beans obtained from different geographic origins. *Lwt*, 153, 112395. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112395>
- FEDECACAO (2023). Producción cacaotera presentó una reducción del 10% en 2022 por lluvias - *Oficina de comunicaciones - FEDECACAO* histórico. Disponible en <https://www.FEDECACAO.com.co/post/producci%C3%B3n-cacaotera-present%C3%B3-una-reducci%C3%B3n-del-10-en-2022-por-lluvias>
- García, J., Romero, M., & Ortiz, L. (2007). *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2189>
- Gobernación del Huila (2022). Conformada Mesa Sanitaria del Subsector Cacaotero con acompañamiento del gobierno “Huila Crece”. Disponible en <https://www.huila.gov.co/publicaciones/13183/conformada-mesa-sanitaria-del-subsector-cacaotero-con-acompanamiento-del-gobierno-huila-crece/>

Gobernación del HUILA. (2019). Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023 “HUILA CRECE”. [https://www.huila.gov.co/administrativo-de-](https://www.huila.gov.co/administrativo-de-planeacion/publicaciones/9579/plan-de-desarrollo-huila-crece/)

[planeacion/publicaciones/9579/plan-de-desarrollo-huila-crece/](https://www.huila.gov.co/administrativo-de-planeacion/publicaciones/9579/plan-de-desarrollo-huila-crece/)

Guest, D. (2007). Black pod: diverse pathogens with a global impact on cocoa yield.

Phytopathology, 97: 1650-1653. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1650>

Guiltinan, M.J., Pua, E.C, Davey, M.R. (2007). Cacao. *Biotechnology in Agriculture and*

Forestry. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 60:497-518

Henao-Arismendy, J. (2015). Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las

propiedades físicas, composición química y calidad en taza. *Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos*.

Hernández-Núñez, H. E., Gutiérrez-Montes, I., Bernal-Núñez, A. P., Gutiérrez-García, G. A.,

Suárez, J. C., Casanoves, F., & Flora, C. B. (2022). Cacao cultivation as a livelihood

strategy: Contributions to the well-being of Colombian rural households. *Agriculture and Human Values*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10240-y>

International Cocoa Organization ICCO (2023). Fine or Flavour Cocoa. Consultado el 15 de

diciembre de 2023. Disponible en: <https://www.icco.org/fine-or-flavor-cocoa/>

Jaimes-Suárez, Y. Y., Agudelo-Castañeda, G. A., Báez-Daza, E. Y., Montealegre Bustos, F.,

Rengifo-Estrada, G. A., & Rojas-Molina, J. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander* (2^a ed.). Corporación

Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Disponible en

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405538>

- Kellam, M. K., & Zentmyer, G. A. (1986). Morphological, physiological, ecological, and pathological comparisons of *Phytophthora* species isolated from *Theobroma cacao*. *Phytopathology*, *76*(2), 159-164.
- Kongor, J. E., Hinneh, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile—A review. *Food Research International*, *82*, 44-52.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Krauss, U., & Soberanis, W. (2001). Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biological control*, *22*(2), 149-158.
- Kroon, L. P., Brouwer, H., de Cock, A. W., & Govers, F. (2012). The genus *Phytophthora* anno 2012. *Phytopathology*, *102*(4), 348-364. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-11-0025>
- Lahive, F., Handley, L. R., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2021). Climate change impacts on cacao: genotypic variation in responses of mature cacao to elevated CO₂ and water deficit. *Agronomy*, *11*(5), 818.
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez Villegas, J. (2013). Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. *CIAT Políticas en síntesis*.
- Lessa, I. Z. V., Luz, E. D. M. N., Magalhães, D. M. A., Bezerra, J. L., & Pires, J. L. (2020). Morfologia e agressividade de isolados de *Phytophthora palmivora* de cacaueteiro no estado da Bahia. *Summa Phytopathologica*, *46*, 228-235.
- Lima, L. J., Almeida, M. H., Nout, M. R., & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “the food of the gods”: quality determinants of commercial cocoa beans, with particular reference to the impact of fermentation. *Critical reviews in food science and nutrition*, *51*(8), 731-761. <https://doi.org/10.1080/10408391003799913>

- Lozano, Z. E., & Romero, C. S. (1974). Estudio taxonómico de aislamientos de Phytophthora patógenos de cacao. *Agrociencia*, (56), 175-182.
- LUKER (2022). ¿A qué sabe el chocolate de origen colombiano?. Consultado 01 de abril de 2023. Disponible en: <https://www.lukerchocolate.com/es/origen/sabor-cacao-origen-colombiano/>
- Machado Cuellar, L., Ordoñez Espinosa, C. M., Angel Sánchez, Y. K., Guaca Cruz, L., & Suárez Salazar, J. C. (2018). Organoleptic quality assessment of Theobroma cacao L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(1), 46-52. ISSN 2323-0118
- Machado-Cuellar, L., Ordoñez-Espinosa, C. M., Angel-Sánchez, Y. K., Guaca-Cruz, L., & Suárez-Salazar, J. C. (2018). Organoleptic quality assessment of Theobroma cacao L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(1), 46-52. ISSN 2323-0118.
- Marelli, J. P., Guest, D. I., Bailey, B. A., Evans, H. C., Brown, J. K., Junaid, M., ... & Puig, A. S. (2019). Chocolate under threat from old and new cacao diseases. *Phytopathology*, 109(8), 1331-1343.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Un campo para la equidad. *Política Agropecuaria y de Desarrollo Rural 2018 - 2022*. Minagricultura. Bogotá, Colombia. 62 p. Disponible en: https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos/20190326_politica_agro_2018-2022.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena del cacao. *Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Marzo 2021*. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PloS one*, 3(10), e3311.
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PloS one*, 3(10), e3311.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Muñoz-Álvarez, A. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la creación de una chocolatería artesanal, con cacao de origen Huila, en Neiva* (Tesis de maestría). Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico - Universidad EAFIT, 102 p.
- Olujide, M. G., & Adeogun, S. O. (2006). Assessment of cocoa growers' farm management practices in Ondo State, Nigeria. *Spanish journal of Agricultural research*, 4(2), 173-179.
DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2006042-189>
- Ong, S. N., Leong, S. S., & Kwan, Y. M. (2019). Characterization and evaluation of fungicides for control of *Phytophthora palmivora* on cocoa (*Theobroma cacao*). *Trans. Malaysian Soc. Plant Physiol*, 26, 231-236.
- Pabón, M. G., Herrera-Roa, L. I., & Sepúlveda, W. S. (2016). Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38, 283-294.
- Palacios-Bejarano, C. A., Afanador-Kafuri, L., & Pardo-García, J. M. (2021). Identificación de aislados de *Phytophthora* spp. obtenidos de cultivos de cacao en Antioquia, Colombia. *Acta Agronómica*, 70(1), 17-26. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.70619>

- Puig, A. S., Ali, S., Strem, M., Sicher, R., Gutierrez, O. A., & Bailey, B. A. (2018). The differential influence of temperature on *Phytophthora megakarya* and *Phytophthora palmivora* pod lesion expansion, mycelia growth, gene expression, and metabolite profiles. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *102*, 95-112.
- Puig, A. S., Quintanilla, W., Matsumoto, T., Keith, L., Gutierrez, O. A., & Marelli, J. P. (2021). *Phytophthora palmivora* Causing Disease on *Theobroma cacao* in Hawaii. *Agriculture*, *11*(5), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050396>
- Ramírez-Chamorro, L. E., Abaunza-González, C. A., Rodríguez-Polanco, L., Varón-Devia, E. H., Barragán-Quijano, E., & Rojas-Molina, J. (2020). Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) para el departamento del Huila. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403558>
- Ramírez-Chamorro, L. E., Abaunza-González, C. A., Rodríguez-Polanco, L., Varón-Devia, E. H., Barragán-Quijano, E., & Rojas-Molina, J. (2020). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao) para el departamento del Huila.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36479>
- Ramírez-Gil, J. G. (2016). Pérdidas económicas asociadas a la pudrición de la mazorca del cacao causada por *Phytophthora* spp., y *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al., en la hacienda Theobroma, Colombia. *Revista de Protección Vegetal*, *31*(1), 42-49. ISSN 2224-4697.

- Richardson, J. E., Whitlock, B. A., Meerow, A. W., & Madriñán, S. (2015). The age of chocolate: a diversification history of *Theobroma* and Malvaceae. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 120.
- Ristaino, J. B., & Gumpertz, M. L. (2000). New frontiers in the study of dispersal and spatial analysis of epidemics caused by species in the genus *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology*, 38(1), 541-576. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.38.1.541>
- Rodríguez Polanco, L., Carrero Gutiérrez, M. L., Bayardo Parra, E., & Segura Amaya, J. D. (2022). Reaction of detached fruits from selected cocoa clones to artificial inoculation with *Phytophthora palmivora*. *Acta Agronomica*, 71(2), 186-194.
- Rodríguez-Polanco, E., & Vera, A. G. (2015). *Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (Phytophthora sp.) en cacao*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria-AGROSAVIA. 60 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13138>
- Rodríguez-Polanco, E., Morales, J. G., Muñoz-Agudelo, M., Segura, J. D., & Carrero, M. L. (2020). Morphological, molecular and pathogenic characterization of *Phytophthora palmivora* isolates causing black pod rot of cacao in Colombia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 18(2), e1003-e1003.
- Rodríguez-Polanco, E., Navarro-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>
- Rodríguez-Polanco, E., Parra Alferes, E. B., Bermeo Fuquene, P.A., Segura Amaya, J.D., y Rodríguez Polanco, L.A. (2021). Manejo de la pudrición parda de la mazorca

- (Phytophthora palmivora) en cacao por aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1), 79-94.
- Rojas, F., & Sacristán, E. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11622>
- Saltini, R., Akkerman, R., & Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food control*, 29(1), 167-187. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>
- Sandoval, E. Y. A., Merchán, P. J. A., Rodríguez, A. F. B., Díaz, E. P., & Serrano-Cely, P. A. (2020). Estado actual de la cacaocultura: una revisión de sus principales limitantes. *Revista Ciencia y agricultura*, 17(2), 1-11.
- Santander-Muñoz, M., Rodríguez-Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar-Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(10), 1593-1613. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>
- Sotomayor-Parian, R. M., & Soto-Cordova, M. M. (2018). A New Path to Predict Susceptibility of Cocoa Pod Against *Carmentia foraseminis* (Busck) Eichlin Using a Mathematical Model. In *2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI)* (pp. 1-4). IEEE.
- Suárez, Y. Y. J., Castañeda, G. A. A., Daza, E. Y. B., Bustos, F. M., Estrada, G. A. R., & Molina, J. R. (2022). Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander (2a edición).

- Suárez-Salazar, J. C. (2018). *Comportamiento ecofisiológico de Theobroma cacao L. en diferentes arreglos agroforestales bajo condiciones de la Amazonia Colombiana*. Tesis Doctoral. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64006>
- Surujdeo-Maharaj, S., Sreenivasan, T. N., Motilal, L. A., & Umaharan, P. (2016). Black pod and other phytophthora induced diseases of cacao: History, biology, and control. *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters*, 213-266.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_7
- Surujdeo-Maharaj, S., Umaharan, P., & Iwaro, A. D. (2001). A study of genotype-isolate interaction in cacao (*Theobroma cacao* L.): resistance of cacao genotypes to isolates of *Phytophthora palmivora*. *Euphytica*, 118(3), 295-303.
- Torres-de la Cruz, M., Gaspar-Génico, J. Á., Pérez-de la Cruz, M., Acencio-Castillo, N., Mora-Aguilera, G., & Ortiz-García, C. F. (2023). Climate, fruiting and frosty pod rot influence the epidemic intensity of *Phytophthora capsici* in cacao plantations in Mexico. *Revista mexicana de fitopatología*, 41(1), 26-44.
- Turner, P. D. (1961). Complementary isolates of *Phytophthora palmivora* from cacao and rubber, and their taxonomy. *Phytopathology*, 51: 161-164.
- Vinces, O. H. P., García, J. V. T., Quiñónez, L. C., Mora, F. D. S., Matute, A. F. M., & Morán, V. F. V. (2015). Potencial productivo de clones experimentales de cacao tipo “Nacional”. *La Técnica*, (14), 24-29. ISSN 1390-6895.
- Zhao, J., & Fleet, G. (2015). The effect of lactic acid bacteria on cocoa bean fermentation. *International Journal of food microbiology*, 205, 54-67.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.031>