



DOCINADE

Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo
Énfasis en Sistema de Producción Agrícola

Tesis de Doctorado

**Dinámica del inóculo quiescente (IQs) de
Colletotrichum gloeosporioides Penz. & Sacc. y de
la antracnosis asociada a variables meteorológicas
como base para un esquema de manejo preventivo
en (*Mangifera indica* L.), variedad Tommy Atkins en
el Municipio de Tocaima, Cundinamarca –
Colombia.**

Juan Climaco Hio

Dr. Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo
Director de Tesis

Dr. Diego Miranda Lasprilla
Asesor de Tesis

Dr. Jairo García Lozano
Asesor de Tesis

Bogotá, Colombia, abril 16 de 2026

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Dr. VICTOR GRANADOS FERNANDEZ
Representante del Consejo central de posgrado UNA,

Dr. DAVID VALVERDE VARQUERO
Coordinador del posgrado o su representante

Dr. GUSTAVO ADOLFO RODRIGUEZ YZQUIERDO
Director de tesis

Dr. DIEGO MIRANDA LASPRILLA
Miembro del Comité Asesor de Tesis

Dr. JAIRO GARCIA LOZANO
Miembro del Comité Asesor de tesis

JUAN CLMACO HIO
Sustentante

Resumen gráfico

Dinámica del Inóculo Quiescente de *Colletotrichum gloeosporioides* y Antracnosis en Mango Tommy Atkins

Municipio de Tocaima, Cundinamarca – Colombia

PROBLEMA

IQs ≠ Enfermedad:
El inóculo quiescente (IQs) es diferente a la enfermedad activa



Pérdidas en cultivo:

30–40%

Pérdidas en cosecha:

hasta 100%

Factores de riesgo:
**HR >90%, Precipitación,
Punto de Rocío, Temp >30°C**

METODOLOGÍA



128
árboles

Diseño bloques completos al azar
2 tratamientos:
Agrosavia vs. Productor



Variables de Evaluación

- % IQs en hojas y ramas
- % Enfermedad en órganos reproductivos (flores, frutos en cuaje, frutos en maduración, frutos cosechados)
- Variables de microclima: %HR, Temperatura y Pluviosidad (medidas en 3 estratos: Alto, Medio, Bajo)

RESULTADOS CLAVE

Tratamiento AGROSAVIA

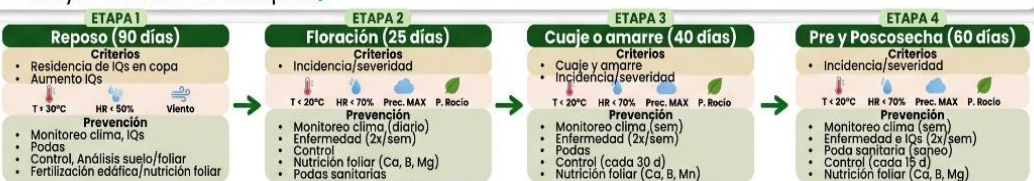
- Reducción IQs en hojas ✓
- Menor enfermedad en floración ✓
- Pérdidas en cultivo: **25%** ✓
- Pérdidas en fruta cosechada: **30%** ✓
- Mayor vida útil en anaquel ✓

Tratamiento PRODUCTOR

- Pérdidas en cultivo: **>50%** ✗
- Pérdidas en fruta cosechada: **>60%** ✗

**IQs residen en el
ESTRATO ALTO
del árbol**

ESQUEMA DE MANEJO PREVENTIVO



El manejo preventivo integrado reduce el inóculo quiescente y la enfermedad en todas las etapas de producción

Fuente: Investigación Agrosavia – Finca Guacana, Tocaima, Cundinamarca

Tabla de contenidos

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	9
AGRADECIMIENTOS	10
DEDICATORIA	11
RESUMEN	12
PALABRAS CLAVE:	13
ABSTRACT	14
KEYWORDS:	15
1. INTRODUCCIÓN	16
2. OBJETIVOS	27
2.1. OBJETIVO GENERAL	27
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3. SÍNTESIS	28
4. ARTÍCULOS	32
4.1. AN INTEGRATED ANTHRACNOSE MANAGEMENT APPROACH IN TOMMY ATKINS MANGO CULTIVARS IN CUNDINAMARCA - COLOMBIA	32
4.2 MANEJO DE (<i>COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOIDES</i>) PARA LA SANIDAD EN COSECHA DE MANGO TOMMY ATKINS CUNDINAMARCA COLOMBIA	54
4.3 NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EN CONTROL Y MANEJO DE LA ANTRACNOSIS EN MANGO TOMMY ATKINS EN TOCAIMA CUNDINAMARCA – COLOMBIA	76
5. DISCUSIÓN GENERAL	109
6. CONCLUSIONES	111

7. RECOMENDACIONES	111
8. REFERENCIAS	113

Índice de figuras

Figura 1. Anthracnose incidence (%) in Tommy Atkins mango flowers in 2015 and 2016, a summary of the interactions of repeated measures ANOVA and Fisher's LSD test between treatments in 2015 and 2016. Different letters show significant differences at $p < 0.05$, with $\pm 95\%$ confidence. WN: with nutrient application, NN: without nutrient application, C0: without control, C1: biological control, C2: chemical control.....	41
Figura 2. Incidence of anthracnose (%) in fruits in 2015 and 2016, a summary of the interactions of repeated measures ANOVA and Fisher's LSD test between treatments in 2015 and 2016. Different letters mark significant differences at $p < 0.05$, with $\pm 95\%$ confidence. *WN: with nutrient supply, NN: without nutrient supply, C0: without anthracnose control, C1: biological anthracnose control, C2: chemical anthracnose control.	42
Figura 3. Percentage of anthracnose quiescent infections (QIs) in mango fruits harvested in 2016, providing a summary of the interactions of repeated measures ANOVA and Fischer 2016 LSD test. Different letters show significant differences at $p < 0.05$, with $\pm 95\%$ confidence. *WN: with nutrient supply, NN: without nutrient supply, C0: without anthracnose control, C1: biological anthracnose control, C2: chemical anthracnose control.	44
Figura 4. Incidencia de la enfermedad en campo, año 2019 y 2020. Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes son diferencias significativas ($p < 0,05$), barras colgantes son $\pm 95\%$ de confianza.....	64
Figura 5. Incidencia de la enfermedad en frutos en campo, durante los años 2019 y 2020 Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes son diferencias significativas ($p < 0,05$), barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.	65
Figura 6. Evaluación de Infecciones quiescentes (IQs) en frutos cosechados en almacenamiento. Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas en $p < 0,05$. Las barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.....	66
Figura 7. Severidad de la enfermedad en frutos en almacenamiento o anaquel. Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas en $p < 0,05$. Las barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.	68
Figura 8. Peso de los frutos de mango (kg-árbol). Rendimiento Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas en $p < 0,05$. Las barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.	69
Figura 9. Efecto de los tratamientos en frutos postcosecha.....	70

Figura 10. Localización de la investigación, municipio de Tocaima, Cundinamarca (Colombia).	81
Figura 11. Escalas diagramáticas modificadas y evaluada (Agrosavia, 2006) para cuantificación de porcentaje de colonización de IQs sobre la superficie de hojas y ramas de mango.....	87
Figura 12. Diferencias entre estratos A: Alto, B: Bajo y M: medio de los árboles mango Tommy Atkins para los parámetros de: 1. Temperatura Promedio (°C), 2. Temperatura máxima (°C), 3. Temperatura mínima (°C), 4. Humedad relativa promedio (% HR), 5. Humedad relativa máxima (% HR), 6. Humedad relativa mínima (% HR), 7. Precipitación acumulada (mm), y 8. Punto de rocío promedio (°C). (R Core Team, 2024).....	90
Figura 13. Ciclo de vida de <i>C. gloeosporioides</i> en mango, incluidas IQs en hojas y ramas, la enfermedad y las características de clima que ayudan a su incidencia y severidad	92
Figura 14. Dinámica del IQs en hojas y ramas de los tres estratos para el periodo 2019-2020.	92
Figura 15. Plegable sobre propuesta de esquema de manejo preventivo integrado de la antracnosis en mango Tommy Atkins en el municipio de Tocaima- Cundinamarca.....	98

Índice de tablas

Table 1. Treatments applied in 2015 and 2016 in mango grove of the Tommy Atkins variety to control anthracnose in the experimental plot.	35
Table 2. Area under the curve of <i>C. gloeosporioides</i> Quiescent Infections (QIs) in experimental Tommy Atkins mango tree leaves in 2015 and 2016.	39
Tabla 3. Modelo del microclima para detectar la presencia de IQs, y la enfermedad antes de presentar síntomas al estrato del árbol del mango Tommy Atkins.....	94

Declaración de autenticidad

Yo, Juan Clímaco Hio, estudiante del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, declaro que la tesis doctoral que presento para su exposición y defensa titulada: “Dinámica del inóculo quiescente (IQs) de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. & Sacc. y de la antracnosis asociada a variables meteorológicas como base para un esquema de manejo preventivo en (*Mangifera indica* L.), variedad Tommy Atkins en el Municipio de Tocaima, Cundinamarca – Colombia” y comité asesor de tesis Dr. Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo. (director de tesis), Dr. Diego Miranda Lasprilla (asesor) y el Dr. Jairo Garcia Lozano (asesor), es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo. Este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución.

Bogotá, Colombia abril 16 de 2026.



Firma Nombre del Estudiante

Juan Clímaco Hio

Agradecimientos

El autor agradece a las siguientes instituciones y personas que fueron vitales para el desarrollo y culminación de esta tesis doctoral:

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria “AGROSAVIA” quien contribuyó con algunos recursos, para el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Nacional de Costa Rica, DOCINADE, Sistemas de Producción Agrícola por la formación académica.

PhD. Jairo Antonio Osorio Cardona, Patólogo, Investigador pensionado de Agrosavia C.I Tibaitatá, por su amistad, Profesor, orientador, consejero y amigo.

PhD. Diego Miranda Lasprilla, Profesor Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, por su permanente orientación científica y asesoría, amigo y compañero de investigaciones en mango.

PhD. Jairo García Lozano, ex Investigador Agrosavia, Profesor Universidad del Tolima, asesor y orientador, gracias por sus valiosos aportes y contribución al desarrollo de esta investigación.

PhD. Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo, Investigador de Agrosavia, amigo, director de mi tesis doctoral, orientador incondicional que fue pieza fundamental para culminar este sueño, persona dedicada a orientar mi investigación, cada vez que lo necesité estuvo ahí presente con su nobleza, conocimiento, experiencia y rigor científico, gracias doctor por ese compromiso incondicional.

MSc. Jorge Humberto Argüelles Cardenas, Investigador C.I La Libertad, estadístico, compañero, amigo, gracias por su dedicación y aporte en la parte estadística a esta investigación, gracias por haber hecho realidad este sueño, amigo incansable que siempre me dio energía y ánimo para salir adelante con este trabajo.

MSc. Erika Patricia Martínez, Investigadora C.I Tibaitatá, compañera, amiga, vital en mi proceso de formación doctoral, consejera, orientadora, sin ella mis sueños no se hubieran hecho realidad.

MSc. Diego Rojas, Investigador del C.I. Tibaitatá, compañero, amigo, quien me brindó un apoyo incondicional y fundamental a este proceso, gracias por su amistad y aportes oportunos a este trabajo.

MSc. Fabián Enrique Martínez, Investigador C.I Tibaitatá, gracias por su apoyo incondicional y aportes desde lo epistémico y sostenible.

Ingeniero Agrónomo Emerson Duvan Rojas, Investigador C.I Tibaitatá, amigo, compañero, quien dedicó parte de su tiempo, trabajo, conocimiento en la culminación de esta investigación, fue parte fundamental en el desarrollo de mi tesis doctoral.

Dedicatoria

A Dios; a la fe. A la vida, a la salud.

A la disciplina, constancia y dedicación

Al amor de mi vida, Gina Natalia Aponte Pulido

A mi madre y padre; quienes me guiaron desde el cielo.

A mi hija ser hermoso fuente de inspiración constante.

A mis hermanos, ejemplo de vida y lucha.

A mis amigos por su constante motivación, energía y apoyo incondicional.

Resumen

La antracnosis del mango ocasionada por el patógeno *Colletotrichum gloeosporioides* produce pérdidas entre un 30 y 40% en cultivo y hasta un 100% en cosecha y almacenamiento. Factores como la temperatura, humedad relativa, precipitación, punto de rocío y el inadecuado manejo, aumentan la incidencia, severidad y dinámica del inóculo latente en el cultivo. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la asociación de algunas variables meteorológicas y de manejo con la dinámica de la enfermedad en la variedad de mango Tommy Atkins. La investigación se estableció en la finca Guacana, municipio de Tocaima, Cundinamarca, Colombia. En un lote comercial de 128 árboles de mango se implementó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos (Agrosavia y productor), cuatro repeticiones y 16 árboles por unidad experimental. Se tomaron 5 árboles como plantas efectivas para la evaluación de las variables porcentaje de infecciones quiescentes IQs en hojas, inflorescencias (panículas), frutos en cuaje, frutos en proceso de maduración, frutos cosechados, y rendimiento. De cada tratamiento se seleccionaron 4 árboles para seguimiento y evaluación del microclima en tres estratos del árbol (alto, medio y bajo) en respuesta a la dinámica de IQs en hojas y ramas. La investigación indicó que el manejo integrado preventivo del cultivo de mango durante dos ciclos productivos con prácticas de podas, nutrición y aplicación de controles sanitarios disminuyeron significativamente las IQs en hojas y la enfermedad en floración, cuaje de frutos y frutos en proceso de maduración y cosecha. Se obtuvo mayor rendimiento, calidad de la fruta cosechada, así como mayor vida útil de la fruta en almacenamiento y anaquel con respecto al tratamiento productor. En cuanto al seguimiento y evaluación del microclima en los tres estratos del árbol, se presentaron diferencias significativas entre estratos, con respecto a la dinámica del inóculo en los estratos, se encontró que las IQs residen en el estrato alto de los árboles de mango. La investigación determinó que la precipitación máxima, la humedad relativa superior al 90% y el punto de rocío, son factores abióticos que aumentan la incidencia y severidad de la enfermedad, mientras que la temperatura mayor a 30 °C aumenta el inóculo quiescente, y una baja humedad relativa por debajo del 60% disminuye la IQs en hojas y ramas. Se estableció una propuesta de esquema de manejo preventivo, el cual contempla aplicar nuevas tecnologías para el control de la antracnosis, seguimiento y evaluación de factores de riesgo (clima), monitoreo del inóculo y de la enfermedad, así como prácticas de manejo integrado del cultivo. El efecto del manejo preventivo integrado del cultivo permitió reducir el inóculo quiescente en hojas y la enfermedad en las diferentes etapas de producción de mango Tommy Atkins bajo las condiciones de estudio. Se detectó, que el mayor

control de las IQs, disminuyó la incidencia de la enfermedad con mayor significancia para el segundo año en el tratamiento Agrosavia, en un 25% en cultivo y 30% en la fruta cosechada, comparado con el testigo manejo productor que en cultivo las pérdidas fueron superiores al 50% en cultivo y 60% en fruta cosechada. El esquema de manejo preventivo involucra factores de riesgo, principalmente el clima asociado al inóculo quiescente y a la enfermedad, tecnologías innovadoras de manejo, monitoreo permanente de patógeno y toma de decisiones en las etapas más críticas de producción de los árboles de mango.

Palabras clave:

Mango; manejo integrado; infecciones quiescentes; productividad; fenología; rendimiento; calidad poscosecha

Abstract

Mango anthracnose caused by the pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* results in crop losses of 30–40% and up to 100% during harvest and storage. Factors such as temperature, relative humidity, precipitation, dew point, and inadequate management increase the incidence, severity, and dynamics of latent inoculum in the crop. This study aimed to evaluate the association of some meteorological and management variables with disease dynamics in the Tommy Atkins mango variety. This study was conducted on the Guacana farm in the municipality of Tocaima, Cundinamarca, Colombia. A randomized complete block design was implemented in a commercial plot of 128 mango trees with two treatments (Agrosavia and producer), four replicates, and 16 trees per experimental unit. Five trees were considered effective plants for the evaluation of variables such as percentage of quiescent infections IQs in leaves, percentage of the disease in inflorescences (panicles) in fruit setting or fruit set, in fruit in the process of ripening, in harvested fruit, and yield. From the same treatment, four trees were selected for monitoring and evaluating the microclimate in three strata of the tree (high, medium, and low) in response to the dynamics of IQs in leaves and branches. The research indicated that the integrated preventive management of mango crops during two productive cycles with practices (pruning, nutrition, and application of sanitary controls) significantly reduced IQs in leaves and the disease during flowering, fruit setting or fruit set, and fruit in the process of ripening and harvesting. Higher yields and quality of the harvested fruit were obtained, as well as longer fruit storage and shelf life compared to the production treatment. Regarding the monitoring and evaluation of the microclimate in the three strata of the tree, significant differences were found between strata, with respect to the dynamics of the inoculum in the strata, it was found that the IQs reside in the upper stratum of the mango trees. The research determined that maximum precipitation, relative humidity above 90%, and the dew point are abiotic factors that increase the incidence and severity of the disease, while maximum temperatures greater than 30°C increase quiescent inoculum, and low relative humidity below 60% decreases IQs in leaves and branches. A preventive management plan was proposed, which includes the application of new technologies for anthracnose control, monitoring and evaluation of risk factors (climate), inoculum and disease monitoring, as well as integrated crop management practices. The effect of integrated preventive crop management reduced quiescent inoculum on leaves and disease at different stages of Tommy Atkins mango production under the study conditions. It was found that greater control of IQs and a decrease in disease incidence decreased most significantly in the second year of the Agrosavia treatment, with an increase in the

shelf life of harvested fruit, both in storage and on the shelf. The proposed preventive management plan. The proposed preventive management scheme aims to involve risk factors, primarily climate-related factors associated with quiescent inoculum and disease, innovative management technologies, ongoing pathogen monitoring, and decision-making during the most critical stages of mango tree production.

Keywords:

Mango; integrated management; quiescent infections; productivity; phenology; yield; postharvest quality

1. Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más demandadas a nivel mundial, una producción de aproximadamente 70 millones de toneladas de mango al año (FAOSTAT, 2023). La industria se basa principalmente, en la elaboración de productos a base de pulpa, tales como concentrados, jugos, mermeladas, gelatinas, barras de fruta, entre otros (Rojas *et al.*, 2020). Los principales países productores de mango en millones de toneladas/año son: India (24.75), Indonesia (3.62), China (2.54), México (2.38), Pakistán (2.34), Brasil (2.14), Malawi (1.93), Tailandia (1.65), Bangladés (1.45), Egipto con (1.40), los cuales representan más de la mitad del volumen mundial, superando el 53% (MADR, cadena del mango 2023; Martínez-Hernández *et al.*, 2025).

En Colombia, Federación Mangos de Colombia (Fedemango) indicó que el año 2023 se cultivaron 28.245 ha de mango, con una producción de 298.612 t/ha, de las cuales el 68% de las áreas cultivadas se concentró en los departamentos de: Cundinamarca, con un área aproximada cultivada de 7.260 ha y una producción estimada de 94.000 t/año; Tolima, con un área cultivada aproximada de 6.522 ha y una producción de 45.000 t/año y Magdalena, con un área cultivada de 3.010 ha y una producción de 34.700 t/año. El incremento anual de producción se ha mantenido por encima del 2,6%, y un rendimiento promedio de 12 t/ha. Los departamentos con mayor rendimiento en Colombia son Tolima, con 15.8 t/ha, Magdalena con 11.5 t/ha y Cundinamarca con 9.4 t/ha (MADR, cadena del mango 2023).

El mango es la quinta fruta fresca que más exporta Colombia después del banano, el aguacate Hass, lima Tahití y Gulupa. Según la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) y la Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex), el valor de las exportaciones de mango entre enero y junio del año 2024 ascendieron a US\$7,3 millones con un incremento de 13,2% frente al mismo semestre de 2023, año en el que las ventas en el exterior crecieron en un 47% frente a año 2022 (MADR, cadena del mango 2023).

Las variedades más cultivadas en Colombia en su orden son: mango Hilacha con un 39%, Tommy Atkins 20%, Keitt 10%, Yulima 10%, y mango de azúcar con un 5% del área cultivada en Colombia (FAO, 2020). Los países donde más se exportó mango fueron: Canadá, Francia y Reino Unido, mientras que Estados Unidos es el principal exportador de mango fresco procesado y congelado. Para los años 2019 a 2021, Colombia abrió nuevos mercados, lo cual le permitió realizar exportaciones por primera vez a Venezuela, Hong Kong, Bahrein, Guatemala, Ucrania y Malasia (FAOSTAT, 2022).

Colombia con la producción de mango genera 11.701 empleos directos y más de 2.500 empleos transitorios, con grandes beneficios económicos para las comunidades que habitan en las zonas productoras, mejorando sustancialmente la calidad de vida tanto del productor como de sus habitantes y comunidad en general (SIOC, MADR, cadena del mango 2021).

Las enfermedades fungosas más limitantes en la producción de mango Tommy Atkins y que limitan el comercio nacional e internacional de la fruta, es en primer lugar la antracnosis, ocasionada por el complejo *Colletotrichum gloeosporioides*, otras enfermedades que limitan la producción y que en los últimos años han aumentado las pérdidas son: muerte descendente ocasionada por el patógeno *Lasiodiplodia* sp, y algunas enfermedades temporales u ocasionales como el mildew polvoso (*Oidium mangiferae*, Berthet), roña (*Elsinoe mangiferae*), y Fumagina (*Capnodium mangiferae*) (Galán, 1999; Osorio *et al.*, 2008; Páez, 2020; Palomo *et al.*, 2023)

Por su parte, la antracnosis, enfermedad ocasionada por el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc, es considerada una limitante significativa en la producción de diferentes especies de frutales a nivel mundial, los cultivos de frutales como almendros, aguacate, cítricos, mango, papaya han sido y son gravemente afectados por la enfermedad, esto ocasiona elevadas pérdidas en cultivo, en fruta en proceso de maduración y en cosecha, generando un impacto en las economías nacionales e internacionales con consecuencias sociales a los productores. (Osorio *et al.*, 2010; Páez, 2020; Cantú *et al.*, 2024; Osuna-Enciso, *et al.*, 2023).

En mango, la enfermedad afecta a variedades susceptibles como el mango de azúcar, hilacha y variedades como Irwin, Yulima, Keitt, Kent, Tommy Atkins, con pérdidas que pueden ir desde un 40% a un 60% en campo y desde un 80% a un 100 en la fruta cosechada y almacenada (Osorio *et al.*, 2010). En el cultivar Tommy Atkins el complejo *C. gloeosporioides*, ocasiona alta incidencia y severidad de la enfermedad en órganos como: panículas o inflorescencias, frutos en formación o cuaje, y frutos en proceso de maduración, con daños severos en la fruta almacenada en bodegas, anaquel y sitios de distribución de pequeños y grandes distribuidores (Osorio *et al.*, 2012, Palomo *et al.*, 2023).

En Colombia cultivos de mango de diferentes variedades presentan significativos daños por antracnosis en los departamentos de Tolima, Magdalena y Cundinamarca. Estos sistemas productivos se caracterizan por ser cultivos viejos, con poco manejo agronómico, poca adopción de tecnologías para mejorar la producción, lo cual *C. gloeosporioides* genera grandes impactos en la producción (Osorio *et al.*, 2008; 2010; 2012).

Osorio *et al.*, (2008) señalan que, en diferentes variedades de mango en los departamentos de Magdalena, Tolima y Cundinamarca, el inóculo primario inicial, que produce alta incidencia y severidad de la enfermedad en los órganos vegetativos y productivos del cultivo de mango se encuentra en estados quiescentes IQs y reside en la copa de los árboles de mango, en hojas y ramas, sin expresar síntomas visibles de la enfermedad.

Algunas investigaciones han mostrado distintas formas de supervivencia del inóculo de *C. gloeosporioides* y sus diversos estados de latencia o quiescencia, principalmente en hojas, frutos en cuaje o amarre, pedúnculos, etc. Estos inóculos ocasionan epidemias y altas incidencias de la enfermedad en cultivos de mango y aguacate, cuando factores de clima influyen directa e indirectamente con la dinámica y distribución del inóculo.

Los estudios indican que existe una relación directa entre la presencia de la infección quiescente y la incidencia de infección en frutos de mango, lo cual revela que cuando los frutos están en proceso de maduración, las IQs no expresan daño, pero, cuando inicia la maduración de la fruta, debido a la alta segregación de azúcares y fenoles, las infecciones se activan e inician síntomas de la enfermedad. Al respecto, factores de clima principalmente cambios bruscos de temperatura y humedad relativa en cultivo y fruta almacenada, es cuando se producen los mayores daños (Tovar-Pedraza & Leiva *et al.*, 2020; Calderón, 2016).

Otros estudios señalan que la infección quiescente en frutos inmaduros o en proceso de maduración es un proceso de naturaleza latente, una vez que la penetración de la hifa entra al tejido sub-cuticular, su desarrollo o síntoma se genera únicamente cuando el fruto alcanza cierto grado de maduración y por lo general, alcanza esta condición cuando la fruta está almacenada, obteniendo una mayor severidad de la enfermedad en esta etapa poscosecha (De Silva *et al.*, 2019; Hardoim *et al.*, 2015; Normand *et al.*, 2015;).

La enfermedad en la etapa de producción incrementa su severidad cuando el patógeno ataca órganos reproductivos flores y frutos pequeños en formación, especialmente cuando ocurren altas precipitaciones en las zonas de cultivo, debido a la distribución por el arrastre y llegada de esporas del patógeno a las inflorescencias y frutos (Arauz, 2000; Osorio *et al.*, 2008; Osuna-Enciso, *et al.*, 2023).

Los síntomas de la enfermedad en los órganos afectados (hojas nuevas, inflorescencias, frutos en cuaje o amarre y fruta en proceso de maduración), presentan por lo general manchas o lesiones alargadas de color marrón oscuro, mientras que, otros daños en flores y frutos pequeños se manifiestan por la caída o desprendimiento de los frutos enfermos. Muchas veces los frutos pequeños afectados que no se desprenden del árbol, se momifican y quedan adheridos a los pedúnculos, lo cual genera gran cantidad de inóculo que facilita nuevas infecciones (Galán 1999; Páez 2020; Zhafarina *et al.*, 2021).

El control de la antracnosis se ha fundamentado principalmente en aplicaciones frecuentes de fungicidas de síntesis química, especialmente en las etapas de floración y fructificación, con resultados poco eficientes. Adicionalmente, este tipo de control ha contribuido a la contaminación de trazas de químicos en la fruta y al deterioro de los ecosistemas productivos (Osorio *et al.*, 2012; Páez, 2020; SIOC, MADR, cadena del mango 2021, 2022).

El impacto ambiental generado por el mal uso de los químicos y las mínimas alternativas para el control de la enfermedad permite plantear nuevos retos en la producción de mango (Páez Redondo, 2003; Sierra, 2023). En promedio, en Colombia se realizan doce aplicaciones por ciclo de cosecha, sin embargo, los niveles de control del hongo no son satisfactorios, evidenciándose daños y pérdidas significativas en floración y cosecha de la fruta (Páez, 2003; Hio *et al.*, 2024).

El uso irracional de pesticidas ha llevado a promover cambios en las prácticas de manejo sanitario en la producción agrícola que limiten el impacto ambiental, reduzcan el número de aplicaciones, que no perjudiquen el medio ambiente, los animales y los seres humanos. (Yu *et al.*, 2016, Jaramillo *et al.*, 2016). Las moléculas químicas más utilizadas para el control de la enfermedad son: Difeconazol, Carbendazim y Azoxistrobin, entre otras, aplicadas de manera frecuente en campo antes de la cosecha o en tratamiento a la fruta cosechada (Miranda *et al.*, 2024; Páez, 2020).

En Colombia y en las zonas de producción de mango existe poco conocimiento sobre las IQs, su dinámica y distribución del inóculo, así como sobre los factores de riesgo asociados a la incidencia y severidad de la enfermedad y del inóculo quiescente. De igual modo, los controles de la enfermedad basados en productos de síntesis química son deficientes, resultan escasas las tecnologías de manejo integrado, el manejo agronómico del cultivo es precario y existe un desconocimiento sobre las etapas críticas de la enfermedad en el ciclo del cultivo. Aunado a ello,

hay poco uso de semilla de calidad, así como baja tecnología y eficiencia en la dotación hídrica, factores clave dentro del sistema productivo para que sea competitivo en los mercados nacionales e internacionales (Hio *et al.*, 2024).

El enfoque de la tesis doctoral a través de esta investigación fue explorar nuevas herramientas de control de la antracnosis en mango Tommy Atkins orientadas a reducir el potencial del inóculo y la enfermedad, mediante un manejo integrado del cultivo (MIC). Para ello, se tuvo en cuenta trabajos previos relacionados con la enfermedad, así como experiencias de los agricultores e investigadores, técnicos, y extensionistas de la zona de estudio.

La construcción del esquema preventivo de manejo integrado para el control del inóculo y de la enfermedad en el cultivo de mango Tommy Atkins en Cundinamarca involucró resultados basados en la evaluación de prácticas de manejo integrando podas, nutrición y aplicación de productos químicos y biológicos cada 30 días y sus efectos sobre el porcentaje de inóculo y de la enfermedad en material vegetal en etapa de floración, cosecha, frutos en almacenamiento y anaquel, comparado con el manejo tradicional del productor.

De igual modo, la propuesta de esquema preventivo de manejo del inóculo y de la enfermedad, también involucró factores de riesgo asociados con el patosistema, el ciclo de vida infección de la enfermedad, factores micro climáticos relevantes que influyen en el aumento del porcentaje de IQs en hojas y ramas. Adicionalmente, se tuvo en consideración el manejo tradicional, así como nuevas tecnologías de prácticas de manejo de la enfermedad, teniendo en cuenta los estados fenológicos del cultivo con mayor susceptibilidad como criterio para la implementación de las estrategias de manejo evaluadas.

La propuesta de esquema preventivo de la antracnosis pretende reducir la enfermedad en la producción de mango en la variedad Tommy Atkins, para de esta manera minimizar las pérdidas ocasionadas por la antracnosis las etapas productivas más susceptibles. Los porcentajes de daño en términos de incidencia y severidad pueden variar de acuerdo con el tipo de cultivo, comportamiento del clima, manejo tecnológico, por lo cual, las recomendaciones de manejo integrado deben ser validadas en función a condiciones locales de los sistemas productivos.

Marco teórico

La antracnosis se ha considerado una enfermedad limitante para diferentes especies de frutales (almendros, aguacate, cítricos, mango, papaya, etc.) alrededor del mundo (Bolaños, et al., 2022). Países como: Estados Unidos, México, India, Israel, Brasil, Ecuador, Colombia entre otros, han sido gravemente afectados económicamente por las elevadas pérdidas causadas por la enfermedad.

El agente causal comúnmente identificado en frutales ha sido el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. En Colombia la enfermedad ataca significativamente diferentes frutales como mango, marañón, mangostino, aguacate, tomate de árbol, y cítricos, principalmente variedades de mango susceptibles como mango hilacha, mango Yulima y Tommy Atkins, en todas las zonas productoras, siendo uno de los problemas más significativo con daños severos en mango de azúcar en el Magdalena (Páez, 2020; Asohofrucol, 2020).

Cundinamarca, Tolima y Magdalena son los departamentos de mayor producción de mango en el país, pero también son los departamentos donde se producen las mayores pérdidas en la producción, pérdidas que afectan la economía de familias que viven de la producción de mango, la alta incidencia y severidad de la antracnosis afecta en todas las etapas productivas desde en cultivo, desde floración, amarre de frutos, maduración de frutos y cosecha, ocasionando pérdidas de más del 50% en floración en épocas de invierno y caída de flor en periodos de verano, siendo de mayor severidad la enfermedad en fruta cosechada con pérdidas por encima del 60% en la fruta almacenada o anaquel afectando los mercados nacionales e internacionales (Osorio et al., 2012; Páez, 2020).

Durante décadas los estudios se han orientados al control de las antracnosis con la introducción de fungicidas sintéticos (especialmente aquellos de tipo sistémico), y fungicidas de contacto que han sido usados por los productores durante años, considerados como la única herramienta de control para esta enfermedad, pero con un alto impacto en el ambiente y en los humanos por el uso irracional de estos productos (Gama, et al., 2020).

El uso frecuente de químicos han venido generando un constante deterioro del agro-ecosistema con impactos severos en la micro y macro fauna benéfica asociada a los paisajes, afectando

sustancialmente las comunidades benéficas de organismos asociadas a los nichos de producción, como son polinizadores, hongos antagonistas entre otros, así mismo, la acumulación de trazas de ingredientes químicos en la fruta al final de la cosecha, poniendo en riesgo la salud de las comunidades consumidoras de mango; las trazas de químicos en la fruta ha obstaculizado la comercialización del mango hacia mercados internacionales y nacionales (Ayantu et al., 2014; Freeman et al., 2014).

El acercamiento a la protección y reducción de las enfermedades en órganos como (flores y frutos en formación), han tenido poca efectividad de las medidas de control aplicadas, posiblemente porque la dinámica del inóculo infectivo del patógeno en los períodos críticos (verano y lluvias). Los estudios en Colombia para caracterizar esta enfermedad, debe hacerse por zonas y sitios de cultivo, debido a la gran diversidad del microclima de cada finca, así mismo relacionar todos aquellos factores de riesgo que potencializan el inóculo quiescente y la enfermedad (Cantú & Ariza et al., 2024)

Uno de los aspectos poco investigados en la epidemiología de enfermedades en cultivos de mango, es el relacionamiento de fenómenos de la supervivencia estacional del inóculo latente de *C. gloeosporioides*. Este fenómeno involucra el desarrollo de ciertas estrategias y estructuras en los patógenos y su sincronía con los estados fenológicos del hospedero, y/o condiciones particulares de factores de clima. En este contexto, las fuentes de inóculo del patógenos aéreos fungosos han sido objeto de estudios detallados con el fin de determinar con mayor claridad las posibles estrategias de interferencia con procesos de dispersión e infección del hospedero (Ruiz campos, 2022).

Estudios han mostrado distintas formas de supervivencia del inóculo del patógeno y muy poco se ha mostrado cuál es su nicho de vida y factor de dispersión de este patógeno en un determinado sistema productivo hospedero, encontrándose con frecuencia que las formas latentes o quiescentes tienen gran peso en las epidemias de mango y aguacate (Tovar-Pedraza & Leiva et al., 2020), Ruiz campos, en el año 2022, mostró una relación directa entre la presencia de infecciones latentes y la incidencia de la enfermedad en frutos de mango cosechados

Osorio et al., 2008, 2010 y 2012, localizaron el inóculo quiescente inicial de *C. gloeosporioides* en estado de infección quiescente IQs en hoja y ramas sin presentar síntomas y en diferentes fases

de desarrollo vegetativo de los árboles de mango, principalmente en árboles viejos de más de 25 años y con insuficiente manejo agronómico, las IQs permanece en la copa de los árboles, y su dinámica podría estar asociada a cambios de temperatura, precipitaciones altas, humedad relativa en los diferentes estratos de la planta, con alta prevalencia del inóculo quiescente por varios años posiblemente en hojas y ramas de plantas de mango.

Investigaciones han mostrado que el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* presenta alta diversidad de especies, agrupadas en complejos de especies, subespecies, asociado a la enfermedad denominada “Antracnosis” (Jayawardena et al., 2021; Liu et al., 2014). en variedades de mango, también se presentó en diversas variedades de frutales tropicales.

Uno de los atributos de la quiescencia, es la etapa de reposo del patógeno y los cambios en la síntesis de sus compuestos químicos los cuales se asocian con las respuestas bioquímicas de la planta hospedera. La regulación de genes diferenciales se generan acorde al hospedante y el microbio; las IQs no ocasionan síntomas en su hospedero, pero si implica algún nivel de interacción, que podría activarse y expresar genes de virulencia relacionados con la fase necrotrófica de algunos órganos de la planta (Prusky et al., 2013; Páez; 2020)

Se detecto que altos y largos periodos de sequía en las diferentes zonas de cultivo, así como un deficiente manejo agronómico, eran factores altamente relacionados para que las IQs permanezcan en abundancia en hojas y ramas principalmente en la copa de los árboles de los frutales evaluados (Hio, et al.,2024)

Dado que existe una amplia agrupación de especies del género *Colletotrichum* asociadas con las antracnosis en frutales, estudios moleculares de las regiones codificadoras (rDNA) e intergénicas de los genes ribosomales (ITSs), han precisado la etiología del patógeno en cada hospedero, de esta manera se han descartado cuestionamientos teóricos sobre la infección cruzada, procedente de la creencia de que solo una especie del hongo es responsable de las antracnosis en varias especies frutales, en cítricos y en otros frutales se ha encontrado la existencia de sub-poblaciones de *Colletotrichum* con diferencias en su rango de hospederos (Páez-Redondo & Hoyos-Carvajal 2022)

El diseño de cebadores especie-específicos, utilizando secuencias de la región del rDNA ITS1, publicadas por (Tamura et al., 2021) han suministrado una importante herramienta para la identificación de las especies de *Colletotrichum* que afectan a los diferentes frutales. Gracias al uso de estos cebadores, se pudo confirmar que *C. acutatum* es el agente causal de la antracnosis de la almendra en California (Archana et al., 2018), y permitió la reclasificación de la cepa SGO, causante del PFD en los cítricos, como *C. acutatum*, (López-Moral y Trapero, 2020). Usando marcadores tipo ITS-RFLP y RAPD, al interior de las especies *C. gloeosporioides* y *C. acutatum*, se señaló la existencia de variación intra-específica (Scariot, 2021; Cajas Salazar, 2021)

Los métodos de manejo y control de antracnosis en mango en Colombia se han basado por décadas a la aplicación de diversas moléculas químicas en una alta frecuencia, pero con poca eficacia en la reducción del patógeno de *C. gloeosporioides*, los productores realizan hasta 12 aspersiones con mezclas de moléculas de alta residualidad, se ha identificado que muchas de estas moléculas no están recomendados para el control de la enfermedad *C. gloeosporioides* en mango, lo cual ha generado impactos negativos y consecuencia medioambientales y resistencia del patógeno, con grandes consecuencias por la contaminación de trazas de químicos en la fruta cosechada (Cantú et al., 2024).

En Colombia se han desarrollado investigaciones orientadas al control de la antracnosis, involucrando productos químicos de baja toxicidad alternados con productos biológicos, en cultivos de limas ácidas, lima Tahití, tomate de árbol, mango, entre otros. Para ello se han desarrollado metodologías que permitieron reducir el inóculo quiescente y su dinámica en los tres frutales antes mencionados, se caracterizó morfológica y molecular la población de *Colletotrichum* asociada a cada frutal, concluyendo que la población de *Colletotrichum acutatum* estaba asociado a tomate de árbol y lima Tahití, mientras que el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* fue asociado a cultivos de mango (Osorio et al., 2009).

El uso de microorganismos, (*Trichoderma* spp), bacterias Gram positiva catalasa- positiva aerobia (*Bacillus subtilis*), levadura (*Rhodotorula minuta*) extracto de semillas de toronja, semilla de Nim, extracto de ruda, entre otros, han mostrado buenos resultados en el control de plagas y enfermedades. El único problema es la poca disponibilidad de estos productos con sus licencias en los mercados (Landerio-Valenzuela et al., 2016).

En cuanto a la nutrición del cultivo de mango, estudios muestran que está práctica, no se hace o se realiza de forma muy esporádica e inadecuada no solo en Colombia si no en muchos países productores de frutas, son pocos y reducidos los programas de fertilización manejados por los productores principalmente en mango en las zonas productoras, los cultivos de mango producen con dependencia de lo que suministran los suelos por naturaleza, lo cual se ve reflejado en los rendimientos, calidad de la fruta y duración del ciclo productivo, estudios han mostrado que el factor que intervienen en los altos rendimientos y calidad en la producción en cultivo de mango es la nutrición acorde a la fenología y su potencial productivo, la adecuada nutrición permite que el cultivo exprese sus atributos de producción y calidad de la fruta (Yacomelo-Hernández et al., 2021)

Si bien se conoce que la planta de mango es un árbol perenne, rustico, con un sistema radicular bien desarrollado y profundo, lo cual hace que la extracción de los nutrientes sea lenta y su efecto sea a largo plazo, por tal razón se exige que los planes de fertilización sean eficientes, para mantener una adecuada y constante producción de calidad (Ramírez-Aguilar et al., 2024; Vera, 2024)

Finalmente, los cultivos de mango requieren se incluya o se apliquen tecnologías nuevas y amigables a la producción, que permitan involucrar un manejo preventivo integrado de la enfermedad, basado en el uso de prácticas culturales, químicos de nueva generación, uso de biocontroladores que ayudan a reducir la incidencia y severidad de la enfermedad, principalmente el inóculo quiescente (Vera, 2024).

La propuesta de tesis doctoral se basará en “Determinar la asociación del microclima en la dinámica del inóculo quiescente y plantear la preventivo frente al inóculo y a la enfermedad ocasionada por el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* en mango Tommy Atkins en el departamento de Cundinamarca Colombia, contribuir al final de la investigación una propuesta con la construcción de un esquema preventivo de manejo de la enfermedad en las diferentes etapas fenológicas de los árboles de mango, teniendo en cuenta el clima y microclima en el sitios de estudio y de cultivo.

Hipótesis

La implementación de un esquema de manejo integral basado en podas, nutrición y controles fitosanitarios, ajustados a la fenología del cultivo reduce significativamente el inóculo latente y la

incidencia de la antracnosis en las diferentes etapas productivas del cultivo de mango Tommy Atkins, considerando que la efectividad de estas prácticas y la dinámica del patógeno en los diferentes estratos del árbol están condicionadas por los factores climáticos y microclimáticos de la zona y sitio de cultivo.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar la asociación de variables meteorológicas y de manejo con la dinámica de la antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides* en mango (*Mangifera indica* L.), variedad Tommy Atkins en el municipio de Tocaima Cundinamarca

2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la distribución temporal del inóculo y de la antracnosis en respuesta a dos prácticas de manejo (manejo productor y esquema de manejo preventivo) en un cultivo comercial de mango Tommy Atkins en Tocaima Cundinamarca.
2. Establecer el efecto del microclima sobre la distribución de las infecciones quiescentes de *Colletotrichum gloeosporioides* en árboles de mango Tommy Atkins.
3. Proponer un esquema de manejo preventivo de la antracnosis a partir de la respuesta generada desde la dinámica del inóculo quiescente, la enfermedad y los factores meteorológicos.

3. Síntesis

El documento de tesis doctoral está conformado por dos artículos publicados en revista indexadas y un tercer artículo en proceso de escritura. Los artículos tienen una relación directa con el objetivo general y una conexión directa con los objetivos específicos. En ese orden de ideas, el objetivo general plantea: Determinar la asociación de variables meteorológicas y de manejo con la dinámica de la antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides* en mango (*Mangifera indica* L.), variedad Tommy Atkins en el municipio de Tocaima Cundinamarca-Colombia.

Primer Artículo, titulado: ***“An integrated anthracnose management approach in Tommy Atkins mango cultivars in Cundinamarca – Colombia”***. El enfoque de este artículo tuvo como objetivo principal implementar un manejo integrado del cultivo para la prevención y control de la antracnosis en mango variedad Tommy Atkins en el departamento de Cundinamarca, Colombia. El trabajo estuvo orientado a la evaluación de esquemas de manejo integrado de antracnosis con la implementación de podas, nutrición de la planta y controles de la enfermedad como factores de manejo. Los resultados se relacionan con el objetivo específico 1 de la tesis.

Se seleccionó una finca cultivada con la variedad Tommy Atkins de 7 años edad en producción, donde se aplicaron diferentes tratamientos a los árboles de mango. En este estudio, se evaluaron combinaciones de diferentes prácticas de manejo para control de la antracnosis. Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo de parcelas subdivididas, compuesto por 12 tratamientos, tres réplicas por tratamiento y un árbol de mango por réplica, para un total de 36 árboles. Se realizó poda a nivel de parcela principal (con y sin poda) y se aplicó nutrientes a las subparcelas (fertilizante al suelo, aplicación foliar como nutriente y sin aplicación de nutrientes), también se aplicaron tres tratamientos para el manejo de la antracnosis con distintos controles (químico, biológico y sin aplicación como testigo absoluto) a nivel de subparcela.

Los tratamientos que incluyeron aplicaciones sin químicos con solo biológicos para el control de la antracnosis, combinados con la aplicación de fertilizantes al suelo y nutrientes foliares, dieron como resultado final el menor porcentaje de infecciones quiescentes en hojas y menor presencia de la enfermedad en flores y frutos. Las podas fueron aplicadas después de cada cosecha y cuando se detectaron panículas y frutos enfermos, obteniendo como resultado que, con esta labor cultural, combinada con nutrición y control biológico redujeron significativamente la enfermedad. Se concluye que el enfoque de manejo integrado de cultivo (MIC) con prácticas

innovadoras para el manejo de la antracnosis pueden ofrecer una reducción del inóculo y de la enfermedad si se aplican de manera consistente y adecuada, con mejores resultados en el segundo año después de implementar las prácticas de manejo.

Segundo artículo, titulado: “**Manejo de *Colletotrichum gloeosporioides* para la sanidad en cosecha de mango Tommy Atkins en Cundinamarca, Colombia**” involucró aspectos metodológicos y resultados de los objetivos específicos, 1 y 2, en donde su objetivo principal fue aplicar herramientas de manejo integrado para el control de la antracnosis en la fruta de mango durante el ciclo productivo, cosecha y después de la cosecha, anaquel o sitios de almacenamiento. Este artículo tiene una conexión directa los tres objetivos de la tesis y un complemento con el primer artículo, debido a que las prácticas de manejo fueron aquellas que presentaron mejores resultados en el primer artículo del objetivo específico uno.

En esta investigación se consideraron variables de clima, el manejo integral del cultivo y variables relacionadas con la dinámica del inóculo quiescente y porcentaje de la enfermedad en los órganos reproductivos de los árboles de mango en diferentes momentos del ciclo productivo, incluso en etapa poscosecha. Los resultados se enfocaron en el control de la enfermedad durante dos ciclos productivos con la implementación de los tratamientos, viéndose un efecto en la reducción de la enfermedad con el manejo integrado en la etapa productiva y de cosecha, las cuales pueden considerarse como fases críticas, debido a las altas pérdidas ocasionadas por la enfermedad con impactos sociales y económicos para los productores de mango de la zona de estudio.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos (manejo integrado Agrosavia y manejo tradicional del productor), cuatro repeticiones y 16 árboles por repetición. Se midió la incidencia de antracnosis en inflorescencias, frutos en cuaje y frutos cosechados, además del peso del fruto y rendimiento por t/ha.

El tratamiento Agrosavia incluyó podas, nutrición y un programa específico para control del inóculo y la enfermedad. El estudio se realizó durante dos años (2019-2020). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, donde el tratamiento Agrosavia mostró reducción en la incidencia de antracnosis en flores, frutos en formación y severidad en frutos en poscosecha, así como mayores rendimientos del cultivo, obteniendo en el año 2019, 8,09 t/ha frente a 5,08 t/ha del manejo tradicional; mientras que en 2020 alcanzó 10,84 t/ha comparado con 7,57 t/ha en el tratamiento con manejo por el productor. La implementación de prácticas de manejo

integrado constituyó una estrategia eficaz para disminuir pérdidas y aumentar la productividad, calidad y competitividad del sistema productivo bajo las condiciones de estudio.

En el caso de las variables sanitarias, los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la incidencia de antracnosis en flores, frutos en formación y severidad en poscosecha. El manejo integrado del tratamiento Agrosavia mostró alta significancia en el control de las IQs en un 15% y de la enfermedad hasta en 20%, con respecto al tratamiento productor. Los resultados muestran que la implementación de prácticas de manejo integrado constituye una estrategia eficaz para reducir significativamente la incidencia de antracnosis y aumentar la productividad en el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.).

En general el manejo preventivo integrado en el tratamiento manejo Agrosavia mostró diferencias significativas en la reducción de IQs en hojas y ramas, menor incidencia de la enfermedad en flores y frutos. Adicionalmente, se pudo evidenciar un mayor rendimiento y una vida útil más larga en la fruta almacenada, en anaquel, comparado con el tratamiento manejo productor.

Tercer artículo, titulado: “**Nuevas tecnologías para en control y manejo de la antracnosis en mango Tommy Atkins en Tocaima Cundinamarca – Colombia**”.

Este artículo se encuentra en proceso de escritura por los autores para someterlo a revista indexada. Este artículo tiene como objetivo principal dar respuesta al objetivo específico 2 y 3 de la tesis doctoral.

La antracnosis del mango ocasionada por el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* ocasiona pérdidas entre el 30 y 40% en cultivo, un 80% a 100 % en cosecha, almacenamiento y anaquel, la variabilidad climática es un factor de riesgo, asociado a la presencia y el desarrollo de Infecciones quiescentes IQs y a la incidencia y severidad de la enfermedad en árboles de mango y cultivo en general. Se evaluó el efecto del microclima y la distribución de las infecciones quiescentes IQs en hojas y ramas en tres estratos árboles de mango en el año 2019 y 2020, se aplicaron prácticas de manejo, se construyó un esquema de manejo preventivo integrado de la enfermedad. El diseño experimental fue de (BCA), con cuatro repeticiones, 16 árboles por repetición y cuatro árboles para seguimiento del microclima y IQs en los tres estratos.

Se realizó manejo integrado con podas, nutrición, fungicidas y biológicos en las etapas de descanso y producción, el monitoreo de las variables de microclima se ejecutó, mediante sensores tipo USB marca EXTECH RHT10®, colocados en cada estrato; el monitoreo se realizó cada 30

días, el manejo preventivo integrado, redujo en un 20 % las IQs en hojas y ramas. El microclima presentó diferencias significativas entre estratos, las IQs residen en el estrato alto de los árboles de mango en hojas y ramas, la humedad relativa menor a 50 % y la temperatura máxima mayor a 30 °C aumentan las IQs en hojas y ramas, la precipitación, la mínima temperatura, la máxima humedad relativa por encima de 70 %, aumenta la incidencia y severidad de la enfermedad en flores y frutos, se construyó un esquema preventivo integrado de manejo de la antracnosis.

4. Artículos

4.1. An integrated anthracnose management approach in Tommy Atkins mango cultivars in Cundinamarca - Colombia

Juan Clímaco Hío^{a,b*}, Erika Martínez^{a,b}, Emerson Rojas^b, Jairo A. Osorio^b, Ginna Natalia Cruz^b, Alexander Bustos R.^b

^a Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (Docinade) Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Heredia, Costa Rica, CP 86-3000

^b Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

Abstract. Anthracnose, caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in mango production, can lead to crop losses of 60 %. Synthetic fungicides constitute its leading management strategy. We evaluated combinations of different management practices to control anthracnose in a commercial Tommy Atkins mango grove in 2015 and 2016. We followed a randomized complete block experimental design with a subdivided plot arrangement composed of 12 treatments, three replicates per treatment, and one mango tree per replicate for 36 trees. Pruning was practiced at plot level (with and without pruning), nutrients were applied to subplots (soil fertilizer, foliar nutrient application, and no nutrient supply), and at sub-subplot level, three anthracnose management treatments were given (chemical, biological, and no treatment). In 2015 and 2016, the treatments involving natural or biological applications against anthracnose plus nutrient supply led to the most significant reductions in quiescent leaf infections and disease presence in flowers and fruits. In addition, pruning at specific crop development stages improved results. In light of our results, this integrated anthracnose management approach in mango production can deliver the expected results if implemented consistently.

Keywords: *Colletotrichum gloeosporioides*; biological pest control; chemical pest control; integrated pest; control; *Mangifera indica*.

Running head: Anthracnose management in mango production

Introduction

The fungal plant pathogen species complex *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz & Sacc causes highly prevalent and destructive anthracnose disease in mango trees. Anthracnose mainly affects tree flowers and fruit development, leading to production losses ranging from 25 % to 60 %

[1, 2, 3]. In 2019, Colombia experienced losses of approximately 261,154 tons of fresh and processed mango products to this disease [4]

Mango farmers chiefly control anthracnose in their groves with synthetic pesticides, intensifying applications during flowering and heavy rainfall seasons, thus reducing disease incidence and severity by up to 55 %. Fungicides improve mango fruit physical quality, preventing disease-driven fruit blemishing. However, high chemical loads can accumulate in the harvested fruit, negatively affecting its commercialization (threatening consumer health) and the environment [5, 6, 7]. Reasonably, the chemical management of *C. gloeosporioides* should begin during early mango flowering stages to prevent costly fruit damage and flower and developing fruit losses that occur if the condition is not timely addressed [8].

Non-chemical anthracnose control alternatives have also been explored in mango crops. These include foliar plant extract applications on both crops and postharvest fruits [9], the use of yeasts and chlorine dioxide in postharvest treatments [10], and the application of ginger and cinnamon essential oils, which have shown positive effects in extending the fruit's shelf life and reducing anthracnose incidence [11]. A combination of chemical and biological alternatives and plant extracts can reduce anthracnose incidence to as low as 1 % in postharvest situations [12].

Complementary physical disease control strategies, such as immersing fruits in water at temperatures above 50 °C or steam treatment at 48 °C have led to a postharvest disease incidence decrease of 45 % to 52 % [13, 14, 15]. Additionally, mango treetop pruning has been found to reduce pest presence and increase flowering and yield by up to 26 % [16, 17].

All commercially grown mango varieties are equally susceptible to anthracnose. In cultures of the Tommy Atkins mango variety, of current growing commercial interest in Colombia, chemical applications for anthracnose control are conducted only at critical phenological stages, avoiding excessive use and residue of chemicals in harvested fruits and minimizing disease impact on crops through integrated control tools.

The integrated management of anthracnose in mango crops should involve early decision-making, implementing pruning and applying anthracnose control alternatives at the beginning of flowering, using chemical and biological methods, and incorporating natural extracts synergistically and

complementarily. These practices would help farmers improve their current anthracnose control methods.

In this work we assessed alternative anthracnose management approaches, integrating a set of practices to reduce the incidence and severity of the pathogen while avoiding high use and frequency of chemicals. Specifically, we aimed to evaluate the effects of different anthracnose control systems in the Tommy Atkins mango variety in the municipality of Tocaima, Cundinamarca, Colombia.

Materials and Methods

This study was conducted in a commercial mango grove of the Tommy Atkins variety located in Tocaima, Department of Cundinamarca, Colombia, between 2015 and 2016. The crop was situated at an elevation of 672 meters above sea level, with an average temperature of 27 °C and an annual rainfall of 1618 mm, providing suitable conditions for mango production [18].

Soil and leaf samples were collected and analyzed to assess the grove's initial conditions and design the experiment's nutrient application scheme. The experiment followed a randomized complete block design with split plots where the blocking factor was plot topography. The main plots were assigned to pruning treatments (with and without pruning), the subplots to nutrient treatments (soil nutrients, foliar nutrients, and no nutrients), and the sub-subplots received different treatments for anthracnose control (chemical treatment, biological treatment, and no treatment). Twelve treatments were applied in this experiment, with three replicates and one mango tree as the experimental unit, resulting in 36 trees. Edge effects were considered when selecting trees to minimize bias and variability introduced by external environmental factors [19] (see **Table 1**).

Table 1. Treatments applied in 2015 and 2016 in mango grove of the Tommy Atkins variety to control anthracnose in the experimental plot.

Treatment	Pruning ¹	Nutrients ²	Anthracnose Control mechanism ³
T1	WP	WN	C1
T2	WP	WN	C2
T3	WP	WN	C0
T4	WP	NN	C1
T5	WP	NN	C2
T6	WP	NN	C0
T7	NP	WN	C1
T8	NP	WN	C2
T9	NP	WN	C0
T10	NP	NN	C1
T11	NP	NN	C2
T12	NP	NN	C0

¹ Pruning (WP: with pruning, NP: no pruning); ² Nutrients (WN: with nutrients, NN: without nutrients); and ³ Anthracnose control mechanisms (C0: No anthracnose control, C1: anthracnose biological control, C2: anthracnose chemical control).

Main Plot - Pruning: For the main plot, maintenance pruning, and crown formation were conducted during the vegetative stage after the harvest. This involved removing unproductive branches, dry peduncles, and lower branches to enhance tree aeration and prevent moisture buildup.

Subplot - Nutrients: At subplot level, edaphic nutrients were applied during each production cycle when the soil reached field capacity. During the resting phase, a physical mixture containing nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and minor elements was applied to mango trees. Additionally, foliar nutrient applications were conducted following the recommendations in the literature, from bud emergence to fruit filling [20].

Sub-Subplot - Anthracnose control. The sub-subplot consisted of anthracnose treatments:

1. No anthracnose treatment (C0).

2. Commercial biological anthracnose treatment and plant extract products (C1) using a rotation of 98 % citrus extract (0.75 cc/L) during tree's resting phase and during fruit development, *Purpureocillium lilacinus* (1 g/L) during flowering phase, and *Bacillus subtilis* (5 cc/L) during fruit formation and growth...
3. Chemical anthracnose treatment (C2) using a rotation of the active ingredients Azoxystrobin (0.8 g/L) during tree's resting phase and during flowering phase, Propineb (2 g/L) during pre-flowering and fruit development phases, and Captan (2.5 g /L) during fruit formation.

Monitoring leaf Quiescent Infections (QIs) and anthracnose in flowers and fruits:

To assess *C. gloeosporioides* quiescent infections (QIs) in leaves and anthracnose incidence in flowers and fruits, the following steps were followed:

1. Leaf Sampling: Twenty-five mature and healthy leaves were collected from the canopy of each tree to evaluate QIs in leaf tissue.
2. Surface Sterilization: The collected leaves were surface sterilized in the laboratory by immersing them in a 0.5 % sodium hypochlorite solution for 30 seconds.
3. Paraquat Treatment: After surface sterilization, the leaves were submerged in a 4 % paraquat solution for 90 minutes.
4. Humid Chambers: The treated leaves were then incubated in humid chambers at room temperature (18 ± 2 °C).
5. Incubation Period: After 12 days of incubation, the percentage of QIs in the leaves was determined. This was done using a modified diagrammatic colonization levels scale specifically designed for mango leaves [21].
6. Calculation of Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC): The area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated based on the percentage of QIs observed during the incubation period, keeping track of disease's progress and severity over time.
7. Anthracnose assessment in flowers and fruits: The percentage of affected panicles and fruits showing anthracnose symptoms was measured from the bud formation stage until harvest. Four points in the middle third of the outer part of each tree were selected for this evaluation, and for calculating the percentage of affected panicles and fruits with anthracnose symptoms, equation 1 was used.

$$\text{Percentage of incidence} = \frac{\text{Number of units affected}}{\text{Number of units sampled}} * 100 \quad (1)$$

8. To determine the percentage of latent infections (LI) in harvested fruits, 4 to 6 fruits per tree were selected and taken to the laboratory where they were washed and disinfected with 1 % NaClO for one minute, then placed in humid chambers at 20 °C until anthracnose symptoms appeared. Anthracnose incidence and severity in flowers and fruits were assessed using a diagrammatic scale as in [22], according to the characteristic symptoms of anthracnose caused by *C. gloeosporioides* [1, 23, 24].

We isolated fungi from latent *Colletotrichum* complex infections, performing taxonomic identification through morphological characters at culture and microscopic levels to ascertain the presence of *C. gloeosporioides*. Fungal pathogen identification agreed with previous studies by our own research group where the fungal cause of anthracnose in mango was also identified with molecular markers [23].

Statistical Analysis

To evaluate data normality assumptions, the Shapiro-Wilk test was used [22]. Homogeneity of variance was assessed using the Levene test [25], and the independence of errors was evaluated using the Durbin-Watson test [26].

Data from 2015 and 2016 were analyzed independently using generalized linear mixed models. The fixed part of the model corresponded to treatment, while the random part included blocks and trees as random factors. In cases where homoscedasticity assumptions were violated, heteroscedastic variance models were included [27].

Different variance functions were used according to variable nature. Namely, the identity type variance function (varIdent) was used for the percentage of anthracnose in fruits (2 015 - 2 016); the exponential function (varExp) was used to model variables such as AUDPC (2 015-2 016), percentage of anthracnose (2 015 - 2 016), percentage of QIs in fruits and production; and the power variance function (varPower) was used for the variable percentage of anthracnose in fruits (2 016).

The model selection process involved using information criteria such as Akaike (AIC) and Bayesian (BIC), as well as the maximum likelihood (logLik) values. These criteria were interpreted as

measures of goodness of fit, and the model with the lowest value in each criterion was selected as the best variance model. This process helps find the most proper model for the data [28].

To compare means, the LSD Fisher test was used with a significance level of $p < 0.05$. Bonferroni corrections were applied to adjust for multiple comparisons. All the statistical analysis was performed using R statistical software, version 3.6.0.

Results and Discussion

Monitoring *C. gloeosporioides* Quiescent Infections (QIs) in leaves and anthracnose in flowers and fruits

In 2015, the treatments assessed for QIs in leaves showed significant differences in the area under the curve (AUDPC) values ($F = 3.69$, $p = 0.0498$). Treatment T7 (NPWNC1) had the lowest AUDPC value (708.12), followed by treatments T8 (NPWNC2), T2 (WPWNC2), and T1 (WPWNC1) with AUDPC values of 776.58, 1,337.31, and 1,427.39, respectively. The treatments T3 (WPWNC0) and the absolute control had an average AUDPC value of 2,554. In 2016, there were also significant differences in AUDPC values among the assessed treatments ($F = 8.78$, $p = 0.0027$). Treatment T7 (WPWNC1) had the lowest AUDPC value (1,392.40), while treatment T6 (WPNNC0) had the highest AUDPC value (7,995.50) (**Table 2**).

In the second year of evaluation, treatments T7 (NPWNC1) and T1 (WPWNC1) showed the lowest presence of QIs in leaves, with AUDPC values of 1,392.40 and 3,487.70, respectively. These treatments, involving nutrient supply and the application of bio controllers in rotation, had a significantly different effect than treatments T6 (WPNNC0) and T12 (NPNNC0), which had AUDPC values of 7,995.50 and 5,619.17, respectively. Similar effects were seen in the first year of assessment, where treatments T8 (NPWNC2) and T7 (NPWNC1) were least affected by QIs, with AUDPC values 776.58 and 708.12, respectively. Treatment T3 (WPWNC0) and the absolute control (T12 NPNNC0) were the most affected by QIs, with AUDPC values of 2,921.46 and 2,187.43, respectively (**Table 2**).

Table 2. Area under the curve of *C. gloeosporioides* Quiescent Infections (QIs) in experimental Tommy Atkins mango tree leaves in 2015 and 2016.

Treatment	AUDPC year 2015	Standard Deviation year 2015	Test LSD- Fisher year 2015	AUDPC year 2016	Standard Deviation year 2016	Test Fisher year 2016	LSD- year 2016
WPWNC0 T3	2921.46	246.87	A	5507.33	304.82	cd	
WPWNC1 T1	1427.39	173.15	Cd	3487.70	152.39	f	
WPWNC2 T2	1337.31	184.8	Cd	5232.00	260.89	de	
WPNNC0 T6	1882.27	170.97	B	7995.50	304.82	a	
WPNNC1 T4	1792.62	204.74	Bc	4848.17	152.39	e	
WPNNC2 T5	2443.68	360.43	Ab	6532.33	260.89	b	
NPWNC0 T9	1965.59	175.9	B	6046.50	304.82	bc	
NPWNC1 T7	708.12	131.51	E	1392.40	152.39	h	
NPWNC2 T8	776.58	168.46	E	2230.40	260.89	g	
NPNNC0T 12	2187.43	189.49	B	5619.17	304.82	cd	
NPNNC1 T10	1264.77	161.93	D	1840.23	152.39	g	
NPNNC2 T11	1791.00	211.34	Bc	3668.8	260.89	f	

Summary of the interactions of repeated measures from ANOVA and Fisher's LSD test between treatments in the two consecutive years. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. WP: With pruning, NP: Without pruning, WN: with nutrients, NN: without nutrients, C0: without control, C1: biological control, and C2 extract: Chemical control.

As shown in Table 2, treatments T7 and T8 demonstrated the most significant IQ reductions over the two-year evaluation period. Both treatments incorporated nutrient supply and anthracnose control measures, with biological control proving particularly effective. Notably, neither treatment involved pruning. Treatment T10 also exhibited lower IQ levels in both years, primarily due to the successful application of biological anthracnose control. However, pruning, nutrient supply, and anthracnose control treatments (T1 and T2) also exhibited some disease reduction. This overall improvement is likely attributable to the fact that treated trees originated from a previously neglected, implemented, and evaluated orchard. A consistent management plan should be deployed to assess the impact of pruning. Several studies emphasize the importance of implementing management practices, such as pruning, nutrient supply, and targeted anthracnose control, to minimize disease incidence in various crops [29].

Anthracnose presence in mango flowers of the Tommy Atkins variety was evaluated, with the following results. In 2015, the interaction between pruning, nutrient supply, and anthracnose control

type significantly influenced disease severity in flowers ($F=6.24$, $p=0.0107$). In treatments T3 (NPWNC0) and T8 (NPWNC2), flowers were the least affected by the disease, 27.67 % and 29.34%, respectively, whereas treatments T10 (NPNNC1) and T12 (NPNNC0) had the highest flower disease values at 60.49% and 53.36%, respectively. Although T3 had the highest value of IQs in leaves, it had the opposite effect on flowers, and T8 effectively reduced IQs in leaves and anthracnose in flowers, highlighting the role of nutrient supply, a common factor to both treatments, in these outcomes. Treatment T10 reduced IQs but did not reduce disease in flowers, confirming that nutrient supply is an important factor in preventing losses.

The results indicate that nutrient supply, guided by soil and leaf tissue analysis, effectively reduced anthracnose in flowers in treatments T3 and T8, regardless of pruning status. However, this trend was not correlated with the percentage of IQs in leaves in these treatments, as they revealed the opposite outcomes. Treatments T9 and T12 displayed a higher incidence of IQs compared to anthracnose incidence levels in flowers in 2015. Treatment T7 was particularly effective in reducing IQs on leaves and demonstrated efficacy in controlling anthracnose in flowers. Conversely, T10, one of the top treatments for reducing IQs, was less successful in controlling anthracnose on flowers.

In 2016, the presence of anthracnose in flowers was also significantly modulated by the interaction between pruning and anthracnose control type ($F=0.27$, $p=0.7702$). The best treatments in terms of disease reduction were T1 (WPWNC1), with a disease incidence of 3.28 %, followed by T2 (WPWNC2), with 6.97 %, and T3 (WPWNC0), with 8.42 %. These results indicate that nutrient supply and pruning in the second year of evaluation positively reduced anthracnose in flowers. Comparing the results of T1 (WPWNC1) with the highest infection percentages seen in treatments T9 (NPWNC0) and T12 (NPNNC0) at 34.36 % and 26.67 %, respectively, the reduction in disease severity was 90.5 % and 87.7 %, respectively (**Fig. 1**).

These findings suggest that proper nutrient supply and pruning practices can significantly reduce anthracnose severity in Tommy Atkins mango flowers. Treatment T3 (NPWNC0) in 2015 and treatment T1 (WPWNC1) in 2016 were the most effective in controlling the disease, highlighting the importance of implementing integrated management strategies for anthracnose in mango crops.

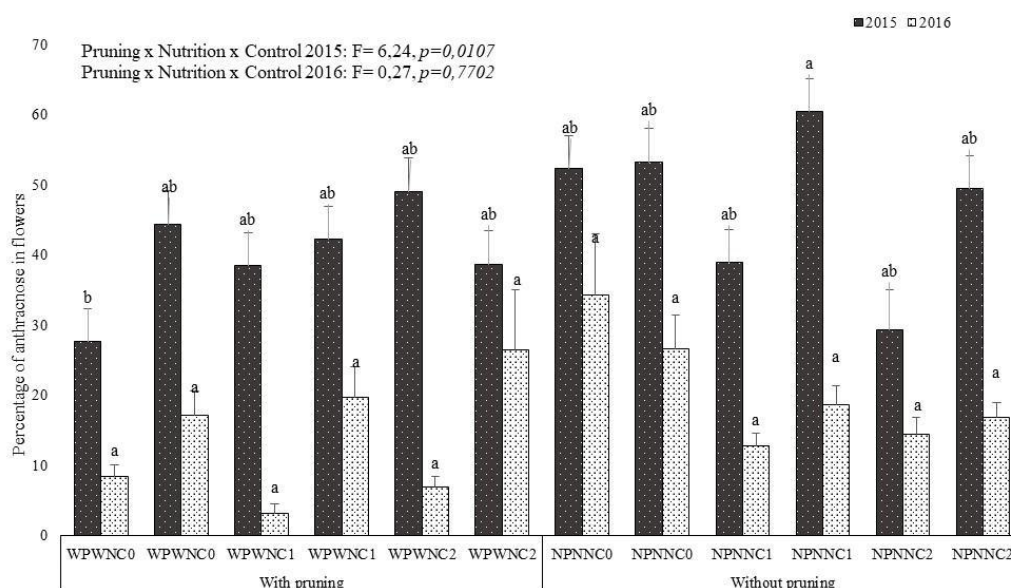


Figura 1. Anthracnose incidence (%) in Tommy Atkins mango flowers in 2015 and 2016, a summary of the interactions of repeated measures ANOVA and Fisher's LSD test between treatments in 2015 and 2016. Different letters show significant differences at $p < 0.05$, with $\pm 95\%$ confidence. WN: with nutrient application, NN: without nutrient application, C0: without control, C1: biological control, C2: chemical control.

Our results align with findings from other studies on avocado and mango crops. In avocado cultivars, implementing practices such as pruning, crown management, and removing diseased fruit, branches, and peduncles reduced anthracnose source inocula and mitigated disease impact [30, 24].

Fungicide use has been a widely studied and applied approach to control anthracnose in mango groves and other fruit trees. Active ingredients such as propiconazole, difenoconazole, carbendazim, benomyl, maneb, and captan have traditionally controlled the disease. However, indiscriminate and inadequate use of fungicides can lead to pathogen resistance, compromising fruit safety, increasing production costs, and negatively impacting human and animal health and the environment [31, 29].

Research has shown that alternating and combining synthetic and non-synthetic means for disease control is central to preventing pathogen resistance. Studies have shown up to a 92 % reduction in anthracnose in mango crops by rotating fungicides based on tebuconazole and trifloxystrobin, and alternating products like metiram and pyraclostrobin reduced the disease by 89 %. On the other

hand, fungicides such as methyl thiophanate, difenoconazole, and carbendazim had lower efficacy, reducing the disease by only 25 %. Combining chemical control with alternative strategies is recommended to mitigate environmental impacts and prevent pathogen resistance [32, 33].

Regarding the presence of anthracnose in fruits in formation, in 2015, we observed significant differences in the interaction among pruning, nutrient supply, and anthracnose control ($F= 6.86$, $P=0.0013$). T7 (NPWNC1) was the treatment with the lowest disease incidence on fruits (21.76%), followed by T1 (WPWNC1) and T2 (WPWNC2), with incidences of 22.77% and 23.02%, respectively. In contrast, the treatments with the highest fruit disease levels were T9 (NPWNC0): 48% and T10 (NPNNC1): 51.48%. In 2016, the interaction between pruning, nutrient supply, and anthracnose control was not significant ($F=1.24$, $p=0.293$). Treatments T2 (WPWNC2), T1 (WPWNC1), and T5 (WPNNC2) had the lowest fruit anthracnose incidences (3.3%, 4.78% and 8.66% respectively), while the treatments with the highest disease incidences in fruits were T6 (WPNNC0) and T3 (WPWNC0), with values of 32.54% and 32.25%, respectively (Figure 2).

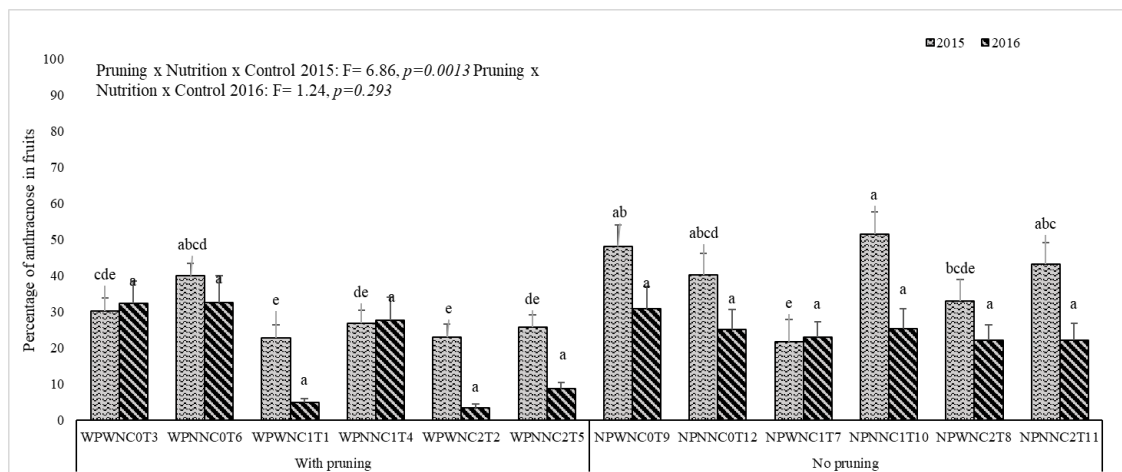


Figura 2. Incidence of anthracnose (%) in fruits in 2015 and 2016, a summary of the interactions of repeated measures ANOVA and Fisher's LSD test between treatments in 2015 and 2016. Different letters mark significant differences at $p < 0.05$, with ± 95 % confidence. *WN: with nutrient supply, NN: without nutrient supply, C0: without anthracnose control, C1: biological anthracnose control, C2: chemical anthracnose control.

The results obtained in fruits showed that the largest affectation seen in the first year compared to the second year is likely due to implementing practices in conjunction with control products within an integrated management scheme. The benefits of nutrient supply and pruning are reflected in established crops from the second year onwards for most perennial crops, including mango,

avocado, and citrus, among others, considering that pruning and nutrition allow for improved productivity, yield, and fruit quality if they are implemented [36]. However, the research also highlights the efficacy of biological control agents, indicating that they can effectively reduce disease incidence in mango fruits.

Studies have revealed that proper nutrient management, providing essential elements like potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), boron (B), manganese (Mn), zinc (Zn), silicon (Si), nickel (Ni), and molybdenum (Mo), can contribute to reducing disease in mango trees. Specifically, organic or synthetic fertilizers can improve plant health and decrease overall disease incidence and sudden death caused by pathogens like *Ceratocystis* sp. and *Ophiostoma* sp. [32].

Furthermore, in mango crops of the Kent and Tommy varieties, applying fertilizers during their different physiological stages positively influences the yields and quality of harvested fruits, decreasing forming fruit drop and raising overall production [33]. In mango production, adequate water supply is essential for nutrient absorption, transport, metabolism, photosynthesis, thermal regulation, and overall tree physiological processes, favoring production stability and quality [34].

Regarding the percentage of quiescent infections (QIs) in harvested Tommy Atkins mango fruits, we only obtained results in 2016 (since there was no rainfall and fruits were absent in 2015) revealing significant differences in the interaction of pruning, nutrient supply, and disease control type ($F= 4,51$ $P=0,0279$). Treatments T5 (WPNNC2) and T2 (WPWNC2) revealed less affected fruits at 3.41 % and 3.96 %, respectively, compared to treatment T12 (NPNNC0), which had a disease incidence of 11.59 %. These findings suggest that the combined practices of pruning and nutrient supply, applied in rotation can significantly reduce the occurrence of QIs in harvested mango fruits (**Fig. 3**). The combination of techniques, such as chemical, biological, and physical control, and inherent resistance, coupled with preventive actions like field fungicide application and post-harvest treatments, are the most effective ways to prevent and treat anthracnose [35, 1].

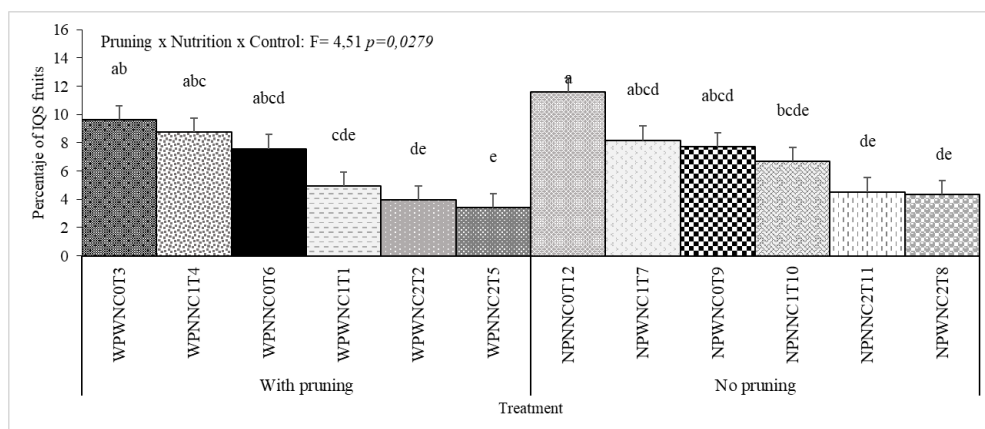


Figure 3. Percentage of anthracnose quiescent infections (QIs) in mango fruits harvested in 2016, providing a summary of the interactions of repeated measures ANOVA and Fischer 2016 LSD test. Different letters show significant differences at $p < 0.05$, with $\pm 95\%$ confidence. *WN: with nutrient supply, NN: without nutrient supply, C0: without anthracnose control, C1: biological anthracnose control, C2: chemical anthracnose control.

Lacking fruits in 2015, we were unable to determine their IQ status. In 2016 IQs had lower incidence and severity in flowers and forming fruits. The harvested fruit from the treatments involving biological disease control and plant extracts showed the lowest percentages of IQs, particularly under pruning and nutrient supply, which become tangible in established crops from the second year onwards for most perennial crops, including mango, avocado, and citrus, considering that pruning and nutrition allow for improved productivity, yield, and fruit quality as long as they are implemented [36].

Moreover, evidence also highlights the efficacy of biological control agents, indicating that they can effectively reduce disease incidence in mango fruits. Biological plant disease control technologies involving beneficial microorganisms have gained recent recognition due to their effectiveness in minimizing diseases in leaves, flowers, and fruits. Implementing these practices within an integrated management scheme enhances disease control and promotes harvested fruit safety. One of the significant advantages of using biological products is their minimal impact on the environment and crop-associated biodiversity. Reducing reliance on chemical synthesis products can minimize harmful environmental effects, leading to a more sustainable and eco-friendly production system [37].

Research has shown the effectiveness of microorganisms in controlling *Colletotrichum* spp., the causal agent of anthracnose, in various fruit trees, including apples, papaya, avocado, and mango.

Bacteria of the genera *Bacillus*, *Trichoderma*, and *Streptomyces* have shown great promise among the tested microorganisms. These microorganisms possess different mechanisms of action, such as the production of antimicrobial compounds, lytic enzymes, antibiosis, bioactive secondary metabolites, deactivation of pathogen enzymes, and mycoparasitism, among others [3].

Trichoderma asperellum shows promising results as an alternative for controlling anthracnose in mangoes. In vitro tests have shown its inhibitory effects on *Colletotrichum gloeosporioides*' growth, the causal agent of anthracnose, with a control rate of 91 % [38]. Similarly, other *Trichoderma* species like *T. harzianum*, *T. asperellum*, and *T. longibrachiatum* have also shown inhibitory effects on *C. gloeosporioides* in vitro assays, with inhibition rates ranging from 9.5 % to 22.5 % [39].

Additionally, *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* produces volatile organic compounds (VOCs) that inhibit *Colletotrichum* sp. mycelial growth by 60 % under laboratory conditions [40]. Similarly, strains of *Bacillus licheniformis* M2-7 and *B. licheniformis* LYA12 have shown inhibitory effects on *Colletotrichum* sp., causing hyphal fragmentation with intracellular inclusion bodies, swellings, and malformations, resulting in a 40 % growth reduction [41].

Similarly, microorganisms and plant extracts have also shown promise in controlling anthracnose. Studies have proven the effectiveness of extracts containing ascorbic acid and phenolic compounds (including phenolic acids, esters, and flavonols), particularly catechin, in controlling anthracnose and powdery mildew. Combining preventive management practices, considering the phenology of the crop, physiological stress stages (flowering, fruit formation, and pre-harvest), and periods of significant rainfall can enhance the effectiveness of plant extracts [42]. For instance, lemon peel extract (LPE) at concentrations of 1.75 to 2.5 g/L completely controls the growth and development of *C. gloeosporioides*, distorting mycelia, swelling of conidia, and cytoplasmic discharge. The Minimum Effective Concentration (MEC) of LPE in vivo was determined as 1.75 g/L, indicating its potential as a protective, simultaneous, and curative treatment to inhibit and decrease anthracnose infection in mango fruits [43].

These results align with earlier studies show how diverse biological control agents and plant extracts effectively diminish latent infections and manage fruit pathogens during postharvest scenarios. For instance, *Paecilomyces* spp., *Bacillus* spp., and citrus seed extract can decrease

the expression of quiescent infections and inhibit the growth of *C. gloeosporioides* in laboratory studies [19].

In postharvest applications, plant extracts in combination with biocontrol microorganisms like *Rodhotorula minuta*, *Bacillus subtilis*, and *Trichoderma* spp. were effective against fruit pathogens such as *Colletotrichum* sp., *Lasiodiplodiaspp.*, and powdery mildew [44, 45, 46, 47]. These approaches aim to achieve fruit without chemical residues, promoting environmental sustainability and preserving beneficial fauna associated with crops; biological control and its agricultural applications have reduced effects on the environment and hinder adverse effects on human and animal health [48].

In addition to biological control, postharvest techniques have been employed to manage anthracnose and quiescent infections. Hot air, hydrothermal treatments, and modified atmospheres can reduce the impact of quiescent infections during fruit storage [49]. Other techniques, such as ultraviolet light and ozone, have also been explored [50, 51].

A combination of hydrothermal treatment at 53 °C for 5 minutes, chitin addition at 10 mg L⁻¹, and subsequent tempering of mangoes in suspensions of *Rhodotorula glutinis* Lv316 or *Lysinibacillus xylaniticus* Ap282 has shown efficacies of 83 % to 89 % in controlling anthracnose originating from quiescent infections of *C. gloeosporioides* in mango fruits of the Sugar variety [14]. These outcomes demonstrate the potential of integrated approaches and postharvest techniques in effectively managing anthracnose and reducing quiescent infections in mango fruits [1].

Finally, the analysis of the overall response to anthracnose treatments showed that treatments T7, T8, and T1 mainly included applying biological controls and plant extracts together with soil nutrient supply and pruning only in T1. In contrast, treatments T6 and T5, which included anthracnose treatments without pruning or nutrient supply, showed higher levels of disease in the plant organs evaluated, confirming that nutrient supply, complemented by anthracnose control, is fundamental to the effective disease management and the reduction of IQs in leaves. Furthermore, in our study pruning did not show a direct relationship with disease reduction, possibly because it was not previously used in management. This study should be continued to assess the long-term positive effect of pruning within integrated management.

Conclusions

Our findings underscore the importance of implementing an integrated approach to anthracnose management in mango production, combining cultivation practices, proper nutrient supply, irrigation, and applications of chemical or biological products. The integration of these strategies can reduce disease incidence and improve mango trees' overall health and productivity.

We tested different alternative systems to manage anthracnose in mango crops under tropical conditions, with positive results from all disease management treatments. Thus, we would like to suggest implementing biological or natural control alternatives as a first-line control strategy integrated with nutrient supply and canopy management, leaving chemical control as the last option.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support of Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -AGROSAVIA and the Colombian Ministry of Agriculture and Rural Development (MADR).

Conflict of interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

References

- [1] Dofuor AK, Quartey NK, Osabutey AF, Antwi-Agyakwa AK, Asante K, Boateng BO, Ablormeti FK, Lutuf H, Osei-Owusu J, Osei JH, Ekloh W, Loh SK, Honger JO, Aidoo OF, Ninsin KD. Mango anthracnose disease: the current situation and direction for future research, *Frontiers in Microbiology*, 14: 1-18, 2023. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1168203>
- [2] Pardo-De la Hoz CJ, Calderón C, Rincón AM, Cárdenas M, Danies G, López-Kleine L, Restrepo S, Jiménez P. Species from the *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum boninense* and *Colletotrichum gloeosporioides* species complexes associated with tree tomato and mango crops in Colombia, *Plant Pathology*, 65(2): 227–237, 2016. <https://doi.org/10.1111/ppa.12410>
- [3] Uddin MN, Shefat T, Afroz M, Moon NJ. Management of Anthracnose Disease of Mango Caused by *Colletotrichum gloeosporioides*: A Review, *Acta Scientific Agriculture*, 2(10): 168–177, 2018. URL: <https://actascientific.com/ASAG/pdf/ASAG-02-0214.pdf>

- [4] Noreña ME. Cadena del Mango Indicadores e Instrumentos. In Miniagricultura (Colombia), 2019.URL:<https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2019.0630%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [5] Kamle M, Kumar P. Colletotrichum gloeosporioides: Pathogen of Anthracnose Disease in Mango (Mangifera indica L.), *Current trends in plant disease and diagnostics and management practices*, 207–219, 2016.https://doi.org/10.1007/978-3-319-27312-9_9
- [6] Kumar A, Ray SK, Kolase SV, Madhavi KJ, Sharma H, Dalavi M, Raut RA. Management of blossom blight and anthracnose disease of mango caused by *Colletotrichum gloeosporioides* Management of blossom blight and anthracnose disease of mango caused by *Colletotrichum gloeosporioides*, *International Journal of Chemical Studies*, 8(6): 455–457. 2020. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i6g.10810>
- [7] Manasa B, Jagadeesh SL, Thammaiah N, Netravati, Evaluation of sensory attributes of mango fruits CV ‘Alphonso’ as influenced by pre -harvest treatments, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1): 2475–2480, 2019.
- [8] Paudel A, Poudel P, Yogi M. Insights on the mango anthracnose and its management, *Journal of Plant Research*, 4(1): 81-90, 2022 <https://doi.org/10.36959/394/629>
- [9] Iram S, Laraib H, Ahmad KS, Jaffri SB. Sustainable management of Mangifera indica pre- and post-harvest diseases mediated by botanical extracts via foliar and fruit application, *Journal of Plant Diseases and Protection*, 126(4): 367–372, 2019. <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00227-7>
- [10] Reyes-Pérez JJ, Vero S, Diaz-Rivera E, Lara-Capistran L, Noa-Carrazana JC, Hernández-Montiel LG. Application of chlorine dioxide (Clo₂) and marine yeasts to control postharvest anthracnose disease in mango (*Mangifera indica* L.), *Ciencia e investigación Agraria*, 46(3): 266–275, 2019. <https://doi.org/10.7764/rcia.v46i3>
- [11] Sefu G, Satheesh N, Berecha G. Effect of Essential Oils Treatment on Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) Disease Development, Quality and Shelf Life of Mango Fruits (*Mangifera indica* L.), *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15(11): 2160–2169, 2015. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.11.96140>.(hacerlelinkaquí:[https://www.idosi.org/aejaes/jaes15\(11\)15/7.pdf](https://www.idosi.org/aejaes/jaes15(11)15/7.pdf))
- [12] Manasa B, Jagadeesh SL, Thammaiah N, Nishani S. Evaluation of fungicides, bioagents and botanicals on postharvest disease, shelf life and physico- chemical properties of ‘Alphons mango’, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4): 1883–1888, 2018.

- [13] Ciofini A, Negrini F, Baroncelli R, Baraldi E. Management of Post-Harvest Anthracnose: Current Approaches and Future Perspectives, *Plants*, 11(14): 1856, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11141856>
- [14] Zapata-Narváez YA, Izquierdo-García LF, Botina-Azaín BL, Beltrán-Acosta CR. Efficacy of microbial antagonists and chitin in the control of *Colletotrichum gloeosporioides* in postharvest of mango cv. Azúcar, *Mexican Journal of Phytopathology*, 39(2): 248-265, 2021. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2102-1>
- [15] Jeevanantham S, Praveen A, Livitha R, Balamurugan K. Post-Harvest Anthracnose of Mango Caused by *Colletotrichum gloeosporioides*: A Review, *Archives of Current Research International*, 24(2): 106-115, 2024. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i2637>
- [16] Pérez-Barraza MH, Urías-López MA, Osuna-García JA, Pérez-Luna AI, Nolasco-González Y. García-Álvarez NC. Effect of pruning on white mango scale and production of mango “Ataulfo”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8): 1841–1853, 2016. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149505005.pdf>
- [17] Liang YS, Fu JY, Chao SH, Tzean Y, Hsiao CY, Yang YY, Chen YK, Lin YH. Postharvest application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB04 fermentation broth reduces anthracnose occurrence in mango fruit, *Agriculture*, 12(10): 1646, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101646>
- [18] Abatzoglou JT, Dobrowski SZ, Parks SA, Hegewisch KC. Terra Climate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, *Scientific Data*, 5: 170191, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- [19] Osorio JA, Martínez EP, Hío JC. Screening of microbial culture filtrates, plant extracts and fungicides for control of mango anthracnose, *Agronomía Colombiana*, 30(2): 222–229, 2012. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33730>
- [20] Yacomelo-Hernández MJ, Ramírez-Gómez MM, Pérez-Moncada UA, Arcila-Cardona Á, Carrascal-Pérez FF, Flórez-Cordero E. Análisis nutricional y niveles de extracción del mango cv. azúcar en el departamento del Magdalena, Colombia, *Bioagro*, 33(2): 79-90, 2021. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.2>
- [21] Osorio JA, Torres MF, Hío JC, Lizarazo P, Castro AP, Romero JA, Arguelles J. Detection and analysis of the distribution of latent infections of *Colletotrichum acutatum* J. H. Simmons in tropical fruit trees, *Fitopatología Colombiana*, 29(2): 45–52, 2005.

- [22] Shapiro SS, Francia RS. An approximate analysis of variance test for normality, *Journal of the American Statistical Association*, 67(337): 215–216, 1972. <https://doi.org/10.1080/01621459.1972.10481232>
- [23] Martínez EP, Hío JC, Osorio CJ, Torres MF. Identification of *Colletotrichum* species causing anthracnose on Tahiti lime, tree tomato and mango Identificación de las especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en lima Tahití, tomate de árbol y mango, *Agronomía Colombiana*, 27(2): 211–218, 2009.
- [24] Páez-Redondo AR. Biología y manejo de estados quiescentes de *Colletotrichum* spp en mango cultivar Azúcar, en el departamento del Magdalena, tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2020. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82503>
- [25] Capezza C, Centofanti F, Lepore A, Palumbo B. A functional data analysis approach for the monito ring of ship CO 2 emissions, *Gestão & Produção*, 28(3): e152, 2021.
- [26] Cespedes GS. R package for estimating parameters of some regression models with or without covariates using Tensor Flow, tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Escuela de Estadística Medellín, Colombia, 2021, URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80677>
- [27] Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2020.
- [28] Hernández E. Selección del mejor conjunto de Regresión. 59: 2019.
- [29] Noriega-Cantu DH, Pereyda-Hernández J, Garrido-Ramírez ER, Jiménez-Guillén R, Cruzaley-Sarabia R. Manejo integrado de la antracnosis y caída de frutos de mango Ataulfo en las costas de Guerrero. SAGARPA - INIFAP – CIRPAS. Campo Experimental Iguala. Folleto Técnico 22: 1–24, 2014. URL: <https://www.academia.edu/33689853>
- [30] Intagri SC. El Cultivo de Mango y su Fertilización, Nutrición Vegetal, 2017. URL: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cultivo-de-mango-y-su-fertilizacion>
- [31] Bordoh PK, Ali A, Dickinson M, Siddiqui Y, Romanazzi G. A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp, *Crop Protection*, 130: 105067, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105067>
- [32] Ashraf A, Shahzad U, Saeed A, Ahsan MT, Sadiq L, Bibi N, Nosheen A, Kazmi MR, Shah ST. Fluctuations of nutrient levels in the infected and healthy tissues of mango under exposure to sudden death disease, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 56(1): 43–51, 2019.

<https://doi.org/10.21162/PAKJAS/19.6730>

(hacerle link a:

file:///D:/Informacion/Downloads/2926.pdf)

- [33] Salazar-García S, Santillán-Valladolid G, Hernández-Valdés EF, Medina-Torres R, Ibarra-Estrada ME, Gómez-Aguilar R. Efecto a corto plazo de la fertilización de sitio específico en mangos 'Kent' y 'Tommy Atkins' cultivados sin riego, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4): 645–659, 2014.
- [34] Nasir M, Iqbal B, Idrees M, Sajjad M, Niaz MZ, Anwar H, Shehzad MA, Tariq AH. Efficacy of some organic fungicides against anthracnose and powdery mildew of mango, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 54(3): 493–496, 2017. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/17.1909>
- [35] Umar U, Ahmed N, Zafar, MZ, Rehman A, Naqvi SA, Zulfiqar MA, Malik MT, Ali B, Saleem MH, Marc RA. Micronutrients Foliar and Drench Application Mitigate Mango Sudden Decline Disorder and Impact Fruit Yield, *Agronomy*, 12: 2449, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102449>
- [36] Asmita P, Pramila P, Manju Y, Asmita B, Pankaj Kumar Y. Insights on the Mango Anthracnose and its Management, *Journal of Plant Pathology Research*, 4(1): 81-90, 2022. <https://doi.org/10.36959/394/629>
- [37] Vásquez-Valdivia V, Pérez-Barraza MH, Osuna-García JA, Urías-López MA. Intensidad de poda sobre el vigor, producción y peso del fruto, del mango 'Ataulfo', *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2): 127-132, 2009.
- [38] Diaz-Medina AR, Arboleda-Zapata T, Ríos-Osorio LA. Biological control strategies used for the management of anthracnosis caused by colletotrichum gloeosporioides in mango fruits: a systematic review, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(3): 595-611, 2019. URL: <https://hdl.handle.net/10495/29529>
- [39] Andrade-Hoyos P, Rivera-Jiménez MN, Landero-Valenzuela N, Silva-Rojas HV, Martínez-Salgado SJ, Romero-Arenas O. Ecological and biological benefits of the cosmopolitan fungus *Trichoderma* spp. in agriculture: A perspective in the Mexican countryside, *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4): 366–377, 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- [40] De la Cruz QR, Roussos S, Rodríguez HR, Hernandez-Castillo D, Aguilar CN, Growth inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phytophthora capsici* by native Mexican *Trichoderma* strains, *Karbala International Journal of Modern Science*, 4(2): 237–243, 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2018.03.002>

- [41] Duangkaew P, Monkhang S. Antifungal activity of *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* BL-59 to control some important postharvest diseases of mango fruits (*Mangifera indica* L.), *International Journal of Agricultural Technology*, 17(6): 2053–2066, 2021.
- [42] Albarrán-De La Luz L, Rodríguez-Barrera M, Hernández-Flores G, Mikel ML, Alemán-Figueroa L, Toribio-Jiménez J, Romero-Ramírez Y. Antagonism of *Bacillus licheniformis* M2–7 against phytopathogen fungi of *Mangifera indica* L, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38: 1–10, 2022. <https://doi.org/10.20937/RICA.54217>
- [43] Zakaria B, Mousa M. In vitro and in vivo, biocontrol activity of extracts prepared from Egyptian indigenous medicinal plants for the management of anthracnose of mango fruits, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 53(15): 715–730, 2020. <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1794308>
- [44] Alvindia DG, Angeles Mangoba MA. Fungitoxic activities of Citrus limón L. peel extracts in controlling anthracnose of mango, *Journal of Plant Pathology*, 104(3): 939–945, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01080-8>
- [45] Duong CT, Thao HTP, Y NTN, Tien DTK, Nga NTT, Nhan TC, Huong BTC, Ercisli S, Truc NTN, Danh LT. Application of Essential Oils Extracted from Peel Wastes of Four Orange Varieties to Control Anthracnose Caused by *Colletotrichum scovillei* and *Colletotrichum gloeosporioides* on Mangoes, *Plants*, 12(15): 2761, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12152761>
- [46] Martínez-Chinguachi JA, Fajardo AG, Esquivel JS, Gonzalez DM, Prieto AG, Rincón D. Manejo agronómico del cultivo de mango *Mangifera indica* L, *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(1): 51-78, 2020. <https://doi.org/10.36436/24223484.267>
- [47] Haider E, Khan MA, Atiq M, Shahbaz M, Yaseen S. Phytoextracts as management tool against fungal diseases of vegetables, *International Journal of Biosciences*, 16(3): 303–314, 2020. <https://doi.org/10.12692/ijb/16.3.303-314>
- [48] Vos CM, Yang Y, de Coninck B, Cammue BPA. Fungal (-like) biocontrol organisms in tomato disease control, *Biological Control*, 74: 65-81, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.004>
- [49] Cotes AM. El concepto del control biológico y sus premisas fundamentales. In A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: Aplicaciones y perspectivas*, 1: 42-54, 2018.
- [50] Cadena-Zamudio DA, Noriega-Cantú DH, Arispe-Vázquez JL, Ariza-Flores R, Cano-García MA. Tecnología para el manejo integrado de la antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.) en Guerrero, México, *Agro-Divulgación*, 3(2): 2023, <https://doi.org/10.54767/ad.v3i2.178>

[51] Landero-Valenzuela N, Lara-Viveros FM, Andrade-Hoyos P, Aguilar-Pérez LA, Aguado Rodríguez GJ. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5): 1189-1198, 2019.

4.2 MANEJO DE (*Colletotrichum gloeosporioides*) PARA LA SANIDAD EN COSECHA DE MANGO TOMMY ATKINS CUNDINAMARCA COLOMBIA

MANAGEMENT OF (*Colletotrichum gloeosporioides*) FOR HEALTH IN MANGO HARVEST TOMMY ATKINS CUNDINAMARCA COLOMBIA

JUAN CLIMACO HIO¹; ERIKA PATRICIA LEMUS-MARTÍNEZ²; GINNA NATALIA CRUZ-CASTIBLANCO³; EMERSON DUVAN ROJAS-ZAMBRANO⁴; JORGE HUMBERTO ARGUELLES-CARDENAS⁵; DIEGO ALEJANDRO ROJAS-RAMÍREZ⁶; HENRY ALEXANDER BUSTOS-RODRIGUEZ⁷

RESUMEN

Más del 40% de la producción de mango se pierde en cultivo y aproximadamente un 100% de la fruta cosechada se pierde en almacenamiento por la incidencia de antracnosis. Las escasas herramientas y tecnologías que le llegan al productor son insuficientes para el manejo de la enfermedad en cultivo, con altas pérdidas al final de la cosecha. La investigación se basó en la aplicación de prácticas de control de la enfermedad, el diseño fue de bloques completos al azar, con dos tratamientos, cuatro repeticiones, y 16 árboles por repetición. Se establecieron dos tratamientos en campo: manejo Agrosavia y manejo productor, y se evaluaron las variables porcentaje de antracnosis en inflorescencias (panículas), porcentaje de antracnosis en frutos en cuaje o amarre, porcentaje de antracnosis en frutos cosechados y rendimientos de cosecha en toneladas por tratamiento. El manejo se basó en la aplicación de podas, nutrición y un programa de control del inóculo y de la enfermedad solo para el tratamiento manejo Agrosavia, el seguimiento y evaluación se realizó durante dos años 2019 y 2020. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables de incidencia de antracnosis en flores, en frutos en formación y severidad en poscosecha. El manejo Agrosavia comparado con el del

¹ Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (Docinade) Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Heredia, Costa Rica, CP 86-3000. ² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

² Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (Docinade) Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Heredia, Costa Rica, CP 86-3000. ² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

⁴ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

⁵ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

⁶ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

⁷ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Km. 14 vía Mosquera – Bogotá, Mosquera, Colombia, CP 250047.

productor, mostró alta significancia para el control de la enfermedad, el rendimiento de fruta cosechada para el tratamiento manejo Agrosavia fue: 2019: 8,09 t/ha, manejo productor 5,08 t/ha y para el año 2020 manejo Agrosavia 10,84 t/ha y manejo producto 7.57 t/ha. La implementación de prácticas de manejo integradas puede reducir significativamente la incidencia de antracnosis en el cultivo de mango, lo que resalta la importancia de incluir estrategias y tecnologías innovadoras para el control de enfermedades, lo que puede reducir pérdidas e incrementar la productividad.

PALABRAS CLAVE: Manejo y control, Antracnosis, Inflorescencia, Frutos mango, Rendimiento, Sanidad en postcosecha, almacenamiento.

ABSTRACT

More than 40% of mango production is lost in cultivation and approximately 100% of the harvested fruit is lost in storage due to the incidence of anthracnose. The few tools and technologies that reach the producer are insufficient for the management of the disease in cultivation, with high losses at the end of the harvest. The research was based on the application of disease control practices, the design was completely randomized blocks, with two treatments, four repetitions, and 16 trees per repetition. Two treatments were established in the field, Agrosavia management and producer management), evaluating the variables anthracnose percentage in inflorescences (panicles), anthracnose percentage in fruits in setting or setting, anthracnose percentage in harvested fruits and harvest yields in tons per treatment. The management was based on the application of pruning, nutrition and an inoculum and disease control program only for the Agrosavia management treatment, the monitoring and evaluation was carried out for two years, 2019 and 2020. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in the variables of anthracnose incidence in flowers, in forming fruits and post-harvest severity. Agrosavia compared to that of the producer, showed high significance for the control of the disease, the yield of fruit harvested for the Agrosavia management treatment was: 2019: 8.09 t/ha, producer management 5.08 t/ha and for the year 2020 Agrosavia management 10.84 t/ha and product management 7.57 t/ha. The implementation of integrated management practices can significantly reduce the incidence of anthracnose in mango cultivation. This highlights the importance of incorporating innovative strategies and technologies for disease control, which can reduce losses and increase productivity.

KEYWORDS: Management and control, Anthracnose, Inflorescence, Mango Fruits, Yield, Post-harvest health, storage.

INTRODUCCIÓN

El mango a nivel mundial es la fruta más cultivada y consumida por diversos núcleos familiares. Su agradable sabor, fragancia y componentes nutricionales como vitaminas y minerales le otorgan un gran potencial alimenticio que lo convierte en un producto de relevancia para la seguridad alimentaria, la importancia de la fruta de mango cosechada es que genera un alto nivel de consumo y rublos económicos para un centenar de familias que dependen de este cultivo. Esta fruta se encuentra disponible de manera permanente para la comercialización y consumo. incluyendo familias de bajos recursos ([Mohamad et al., 2022; Betancourt et al., 2023](#)).

Por su disponibilidad en épocas de alta cosecha, la fruta de mango es considerada de constante consumo masivo por las comunidades. Lo que implica para sostener una buena calidad en la producción de un manejo especial desde cultivo hasta producción cuidados que deben tener una relación con la sanidad, sabor, color y cero trazar o presencia de residuos de químicos al final de la cosecha.

Cuando no se tienen los cuidados antes mencionado en cuanto a la vulnerabilidad físicas de la fruta podría ser de mayor susceptibilidad en postcosecha y cosecha al ataque de plagas y enfermedades, otro de los problemas cuando no se produce calidad de fruta en aspectos de consistencia de la fruta, como dureza de la epidermis, color y tiempos óptimos de maduración de los frutos, los problemas pueden generarse cuando las condiciones por su naturaleza climática y rápida de maduración se deja en almacenamiento.

Colombia padece de muchos problemas sanitarios en la fruta al final de la cosecha, haciendo incompetente la producción para mercados internacionales, especialmente cuando algunos países exigen normas rigurosas para sus exportaciones en cuanto a sanidad y libres de trazas de químicos. Muchos de estos problemas están asociados a la inadecuada e insuficiente asistencia técnica y al deficiente manejo que hace el productor en sus en sus cultivos.

En nuestro país se produce mucha fruta de mango en ciertas épocas del año inundando los mercados nacionales, pero también unido a esto es el contrabando de fruta de mango desde países vecinos haciendo que los precios sean muy bajos en altos picos de

producción. No existe fuera del consumo interno programas robustos que permitan aprovechar al máximo la producción de fruta de mango en épocas de abundancia, programas en transformación e industrialización de la fruta razón por la cual las pérdidas económicas para el productor son bien relevantes.

Por lo general en épocas de alta producción y precios bajos la fruta no se cosecha se deja en el árbol o cuando se cosecha y el intermediario llega a sus predios a comprarla simplemente se lleva la fruta de mejor calidad y el resto la tira a la orilla de ríos o centros de acopio con consecuencia graves por la contaminación no solo del ambiente si no de la proliferación de plagas y enfermedades ([Silveira et al., 2022](#); [Oliveres-Salazar & Villalobos-Castro, 2022](#); [Torres et al., 2022](#)).

Esta identificado que las pérdidas que se generan desde cultivo o al final de cosecha, esta asocia al escaso manejo agronómico del cultivo, con pérdidas que van desde un 30% y hasta un 60% principalmente por ataque de antracnosis y el asocio de otras plagas y enfermedades limitantes que se han potencializado por el fenómeno de niño y niña. Otro de los principales problemas que se ha detectado al momento de la cosecha es el desconocimiento del productor al no estar cosechando la fruta en su punto ideal de madurez del fruto, algo primordial para la duración en almacenamiento y tránsito de la fruta cosechada hasta llegar al consumidor final ([Mohamad et al., 2022](#); [Tarekegn & Kelem, 2022](#); [Jiménez-Maldonado et al., 2022](#))

Es necesario abordar metodologías con herramientas para mitigar el impacto de los problemas sanitarios en los cultivos no solo de mango si no de frutales en general, debido al efecto del cambio climático que trae consecuencia de alto impacto en la producción, riesgos que para los productores pueden ser incontrolables por los altos costos y los pocos beneficios al final de la producción. La alta incidencia de antracnosis en flores y frutos en cuaje y las pérdidas en cosecha en la fruta almacenada o puntos de distribución genera grandes impactos en la economía de una cadena de distribuidores y consumidores de esta fruta ([Osuna-García et al., 2022](#); [Jiménez-Maldonado et al., 2022](#)).

En Colombia, los modelos de manejo deben adaptarse a los sistemas agroecológicos y productivos de cada región, pero con énfasis en esquemas de manejo preventivo que garanticen una mejor estrategia de control de plagas y enfermedades acordes a cada sitio,

incluyendo el manejo integrados del cultivo (MIC), cultural, nutricional y racional de químicos que sean acordes con el ambiente, enfatizar el control sanitario con el uso de productos biológicos existentes en el mercado de los insumos agrícolas, el esquema de manejo debe orientarse a una perspectiva integral con la fenología del árbol y la problemática sanitaria de cada sistema productivo incluido el sitio de producción y sus condiciones agroecológicas ([Osuna-García et al., 2022](#); [Jiménez-Maldonado et al., 2022](#)).

Si Colombia quiere ser competitiva y sostener una producción de calidad se deben fomentar programas de cosecha de agua, de esta manera romper los ciclos productivos para mantener producciones constantes de la fruta de mango, hacer inducción floral con productor a base de nitratos, remplazar variedades con materiales nuevos productivos y gusten en los mercados locales e internacionales y remplazar todos aquellos materiales que lleven más de 30 años en producción, (García-Mahecha et al., 2023; Liang et al., 2022; Jiang et al., 2022), se deben superar situaciones críticas, como romper la estacionalidad de los ciclos productivos y obtener cosechas de calidad con fruta de mayor duración durante la etapa de almacenamiento.

Se estima que las pérdidas por antracnosis en algunas variedades desde inicio de la producción del cultivo de mango son atribuidas al complejo *Colletotrichum gloeosporioides* consideradas entre un 40% en cultivo y un 100% en frutos almacenados en los centros de acopio y de distribución de la fruta ([Silveira et al., 2022](#); [Osuna-García et al., 2022](#); [Betancourt et al., 2023](#)).

Para aumentar y mejorar la calidad de la fruta se deben implementar programas con la introducción y uso de polinizadores, deben ser tecnologías que se socialicen para que el productor pueda aplicarlas en sus cultivos ([Dofuor et al., 2023](#); [Liang et al., 2022](#); [Ndlela et al., 2022](#)).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar un esquema preventivo de manejo de la antracnosis del mango, mediante la implementación de prácticas como la poda, la nutrición basada en análisis de suelo y foliar, el uso racional de productos químicos de baja toxicidad al inicio de la etapa vegetativa y floración, y la rotación con aplicaciones de productos biológicos durante la etapa de producción, prácticas que fueron evaluadas en un cultivo de mango Tommy Atkins de 7 años en producción, bajo las variables evaluadas de incidencia

de la enfermedad en los frutos cosechados y severidad de la enfermedad en la fruta almacenada o en anaquel.

MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante los años 2019 y 2020 en dos ciclos productivos en una parcela experimental de mango (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins de 10 años, ubicada en el municipio de Tocaima Cundinamarca, vereda Guacana, a una altura de 672 m.s.n.m. La evaluación de la enfermedad se realizó en condiciones de campo (en flores y frutos hasta su madurez fisiológica) y en la etapa poscosecha en el laboratorio de microbiología agrícola de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia, C.I Tibaitatá, ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

En campo se empleó un diseño de bloques completos al azar, con dos tratamientos, cuatro repeticiones, 15 árboles como unidad experimental. Los tratamientos se definieron como un esquema de manejo preventivo de la antracnosis (esquema Agrosavia), mediante la aplicación de prácticas (poda, nutrición y aplicación de controles) en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, frente a las prácticas de manejo realizadas por el productor (manejo productor).

La poda a los árboles correspondientes al tratamiento esquema Agrosavia, se llevó a cabo en la etapa vegetativa, realizando una poda de producción, la cual consistió en reducir la copa de los árboles aproximadamente a 5 metros de altura, eliminando ramas entrelazadas, secas, improductivas, con bastantes entrenudos y dejando cerca de cuatro entrenudos por rama, además, eliminando ramas que puedan tener contacto con el suelo; también, se eliminaron pedúnculos secos y frutos momificados; los cortes de la poda se cicatrizaron con una mezcla de vinilo tipo 1, oxiclورو de cobre, y el insecticida lambdacialotrina, protegiendo los cortes de la humedad y del ataque de patógenos. Una vez finalizada la cosecha del primer ciclo productivo, se llevó a cabo una nueva poda sanitaria, despuntes y de producción preparando los árboles para el segundo ciclo productivo de evaluación.

La fertilización de los árboles de mango para el tratamiento de manejo Agrosavia, se basó en los resultados de los análisis de suelo y foliar, que evidenciaron deficiencias de algunos elementos mayores y menores entre ellos el fósforo asimilable, tanto en el suelo como a

nivel foliar, las deficiencias se corrigieron mediante la aplicación de la fuente DAP granulado (18- 46-0) (fosfato diamónico) en mezcla con cloruro de potasio, nitrato de calcio, kieserita y Agrimins® granulado, aplicando 1,5 Kg de la mezcla por árbol; la fertilización edáfica fue aplicada en los dos ciclos productivos en la etapa vegetativa finalizada la poda. Además, se realizó un complemento con nutrición foliar de acuerdo con la fenología de los árboles de mango, aplicando Nutrifoliar® completo una vez terminada la poda y dos aplicaciones del fertilizante líquido a base de Boro y Molibdeno en la etapa de floración y amarre de frutos respectivamente, finalmente durante la etapa de llenado de frutos se realizaron tres aplicaciones foliares con fosfato mono potásico en mezcla con el fertilizante líquido con fuentes de Calcio y Boro aplicadas cada tres meses.

La aplicación de productos para el control de antracnosis en cada ciclo productivo se llevó a cabo de acuerdo con la fenología del cultivo y fue aplicada dependiendo de la incidencia de la enfermedad en el cultivo y dadas las condiciones de clima, en la etapa vegetativa se utilizó un fungicida de protección, sulfato de cobre pentahidratado 10 g/l; en prefloración se empleó el fungicida protectante, propineb 2 g/l; en la floración se aplicó el fungicida sistémico azoxystrobin + difenoconazole 1 cc/l; en la etapa de amarre y formación de frutos se usó el fungicida captan 2,5 g/ litro de agua; a los 30 días se repite aplicación con azoxystrobin + difenoconazole 1 cc/l; posteriormente en la etapa de llenado de fruto se aplicó el biológico ingrediente activo *Bacillus subtilis* 1.0 x 10⁸ (UFC) en una dosis de 1.5 cc/l y finalmente una aplicación sulfato de cobre pentahidratado 10 g/l antes de la cosecha.

A los árboles asignados al tratamiento manejo productor, durante los dos ciclos productivos del año 2019 y 2020 se les realizó en la etapa vegetativa una poda sanitaria y despuntes, se efectuó la aplicación de fertilización edáfica con una mezcla de fertilizante granulado 15-15-15 más menores empleando 500 gr por árbol, no se realizó complemento con nutrición foliar y se llevó a cabo una sola aplicación de productos de control de antracnosis en la etapa de floración con la aplicación del fungicida ingrediente activo (azoxystrobin + difenoconazole) 1 cc/l.

En campo de acuerdo con los tratamientos, se realizó el seguimiento y evaluación de las variables a 5 árboles por repetición para un total de 20 árboles por tratamiento, evaluando el porcentaje de panículas afectadas por antracnosis en la etapa de floración y del

porcentaje de antracnosis en frutos desde el amarre hasta la cosecha en los dos ciclos productivos.

La evaluación de la incidencia de la enfermedad en panículas florales se realizó semanalmente durante un período de tres semanas. Para tal fin se seleccionaron por árbol cuatro puntos del tercio medio, y en cada punto se realizó el conteo total de panículas presentes, y se estableció el número de panículas con síntomas de antracnosis, la incidencia (%) se determinó bajo la ecuación:

$$\%Inc = \frac{N^{\circ}Ua}{N^{\circ}Ue} * 100 \quad \text{Ec.1}$$

Donde, (% Inc) es la incidencia en porcentaje, (N°Ua), corresponde al número de unidades afectadas y (N°Ue) es el número total de unidades evaluadas.

La evaluación del porcentaje de antracnosis en frutos (incidencia) se realizó mensualmente, durante un periodo de tres meses, iniciando las evaluaciones cuando el fruto se encontró en tamaño pequeño tipo garbanzo 10 mm de diámetro hasta la cosecha 90% de su tamaño final de desarrollo cosecha, (García, 2010) , la observación se realizó en los mismos puntos donde se llevó a cabo la evaluación en flores, realizando el conteo total de frutos presentes, estableciendo el total de frutos con síntomas de la enfermedad y se calculó el porcentaje de incidencia con la ecuación descrita anteriormente.

En la etapa de postcosecha se realizaron dos evaluaciones por tratamiento, la primera evaluación fue la presencia de inóculo quiescente (IQs) en frutos con el montaje en cámaras húmedas y una segunda evaluación determinando el efecto de los tratamientos sobre la incidencia de la antracnosis en frutos de mango en almacenamiento o anaquel, el montaje fue realizado en canastillas plásticas y su objetivo fue dar respuesta a las prácticas de manejo realizadas durante la experimentación en los dos tratamiento (manejo Agrosavia y manejo productor) en campo. Para tal fin se cosecharon 192 frutos en cada uno de los tratamientos (tratamiento manejo Agrosavia y tratamiento manejo productor) los frutos colectados estuvieron libres de daños fitosanitarios, libres de daños físicos, ; con uniformidad en tamaño y grado de madurez según norma técnica NTC 5210, madurez tipo 1 y 2 “verde – amarillo”, 90% del tamaño final para cosecha (García,2010; 709 escala BBCH; Páez, 2020), los frutos cosechados de cada tratamiento fueron transportados en

canastillas plásticas a temperatura ambiente aproximada de 18 °C a las instalaciones del laboratorio de microbiología agrícola de Agrosavia, C.I. Tibaitatá.

En laboratorio a los frutos cosechados, se les realizó un lavado con agua de grifo, se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2% por un minuto y se dejaron secar. Los frutos para lecturas de IQs fueron dispuestos en cámaras húmedas previamente preparadas, en cada caja se montaron cuatro frutos y tres cajas por repetición, en total 48 frutos y doce cajas por tratamiento; las cámaras húmedas se ubicaron es estantes a una temperatura $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, las lecturas se realizaron durante 4 semanas. Para la evaluación en almacenamiento o anaquel, los frutos una vez desinfectados fueron dispuestos en canastillas plásticas, 20 frutos por repetición y un total de 80 frutos por tratamiento, las canastillas fueron almacenadas en condiciones de casa de malla a una temperatura $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, las evaluaciones de daño en frutos según los tratamientos se llevaron a cabo en el transcurso de 5 semanas. Los daños se estimaron de acuerdo con la escala severidad de la antracnosis del mango basada en el porcentaje de área afectada medido experimentalmente, manejando la escala de Brodrick 1978, ajustada por Corkidi (2006).

Finalmente se realizó una estimación de producción por tratamiento, realizando un conteo total de frutos en cada uno de los 20 árboles identificados para el seguimiento y evaluación de variables y se determinó el peso promedio de 20 frutos por repetición con el fin de determinar un estimativo de la producción.

Análisis estadístico de datos. Para cada variable evaluada a los datos colectados y digitalizados en Excel se les aplicó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias LSD Fisher ($\text{Alfa}=0.05$) en cada una de las variables analizadas.

Con respecto al tratamiento manejo del productor, no realizó podas, en ninguno de los dos años de estudio, solo realizó una aplicación del fertilizante 15, 15, 15 en el primer semestre de 2019 y en floración en el segundo semestre de 2019 y segundo semestre de 2020 realizó tan solo una aplicación del fungicida ingrediente activo (azoxystrobin + difenoconazole) 1 cc/l, no realizó ningún otro tipo de manejo

RESULTADOS

En la zona de estudio, el ciclo productivo de mango en 2019 se caracterizó por un largo periodo de sequía que duró 7 meses sin precipitaciones, acompañado de temperaturas promedio de 39 °C. Estas condiciones climáticas extremas afectaron significativamente la floración de los árboles, resultando en una pérdida considerable de flores, lo que a su vez impactó la productividad del cultivo. Por otro lado, el ciclo productivo 2020 presentó condiciones más favorables, con una floración abundante en los árboles de mango tratados. Esto permitió evaluar de manera precisa y completa la efectividad de las prácticas de manejo propuestas, utilizando la floración disponible para hacer mediciones rigurosas, lo que evidenció una menor incidencia de la enfermedad en las panículas (Figura 1).

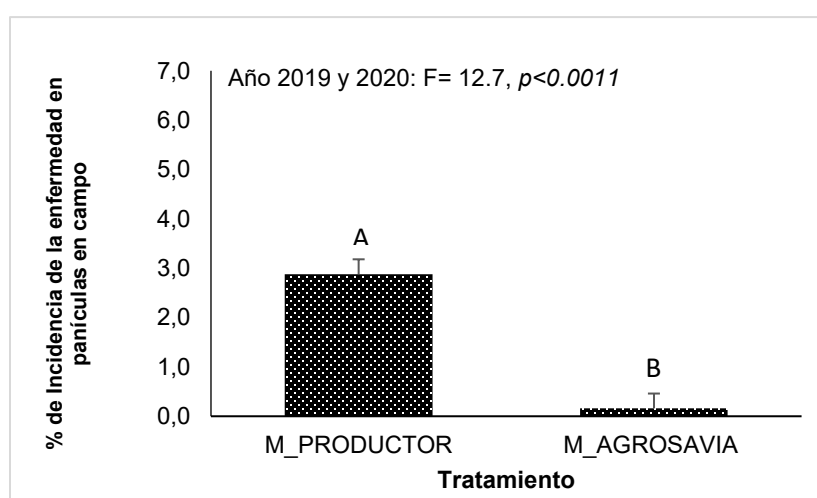


Figura 4. Incidencia de la enfermedad en campo, año 2019 y 2020. Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes son diferencias significativas ($p < 0,05$), barras colgantes son $\pm 95\%$ de confianza.

Los resultados obtenidos mostraron que el manejo aplicado por Agrosavia fue significativamente efectivo en la reducción de la incidencia de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en inflorescencias (panículas). En el año 2019 y 2020, la incidencia de la enfermedad en panículas fue de 0,16%, mientras que para el tratamiento manejo productor fue de 2,88%, lo que revela una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$) (Figura 3).

La incidencia de antracnosis en frutos en cuajado o formación también mostró diferencias significativas entre los tratamientos, para el 2019, el tratamiento manejo Agrosavia presentó el 1,66% de incidencia de la enfermedad en frutos, mientras que para el tratamiento manejo

productor fue de del 5,25% de incidencia de la enfermedad (figura 2). Corroborando que el manejo tiene una gran relevancia en el control de la enfermedad.

Para el año 2019, la incidencia de antracnosis en frutos en cuaje o formación del tratamiento manejo Agrosavia fue 1.66%, y para el año 2020, la incidencia de la antracnosis en el tratamiento manejo Agrosavia fue de 0,18%, la reducción de la enfermedad fue altamente significativa para el segundo año, indicando que el efecto de las prácticas de manejo ejerce un efecto de control tardío. Si comparamos la incidencia de la enfermedad con el tratamiento manejo productor, para frutos se encontró que en el 2019 la enfermedad en frutos estuvo en el 5. 25% y en el 2020 la incidencia de la enfermedad en frutos fue del 4.11% porcentajes altos con respecto al tratamiento manejo Agrosavia (Figura 2). Es de anotar que el productor durante los dos años de seguimiento realizó solo dos aplicaciones de un fungicida para el control de la antracnosis en estado de floración de los árboles, no realizó ningún otro tipo de manejo. Mostrando de esta manera que las prácticas preventivas de manejo de antracnosis son efectivas, pero su significancia se ve reflejadas después de un año de manejo.

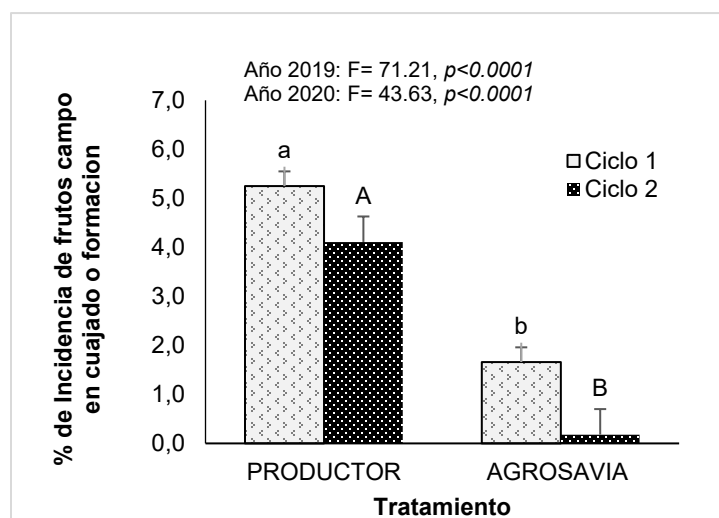


Figura 5. Incidencia de la enfermedad en frutos en campo, durante los años 2019 y 2020 Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes son diferencias significativas ($p < 0,05$), barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.

En el análisis de los índices del porcentaje de IQs en frutos en cosecha, se observó diferencias altamente significativas entre tratamientos en ambos ciclos productivos. Para el año 2019, el manejo Agrosavia logró mantener un nivel de daño de frutos de solo 1,42%,

mientras que el manejo del productor alcanzó un 4,65% (Figura 4). En el año 2020, el daño en frutos fue de 3,06% para el tratamiento Agrosavia, en comparación con el 7,00% para el tratamiento del productor. Estos resultados indican que el manejo Agrosavia fue efectivo para minimizar la incidencia de daño en frutos por antracnosis cuando se utiliza un manejo temprano y adecuado, incluso bajo condiciones variables de clima (Sánchez-Arizpe et al., 2021) indica que el manejo integrado de los cultivos contribuye a disminuir epidemias localizadas de la enfermedad y a reducir elevadas pérdidas desde etapas de llenado de fruto hasta cosecha.

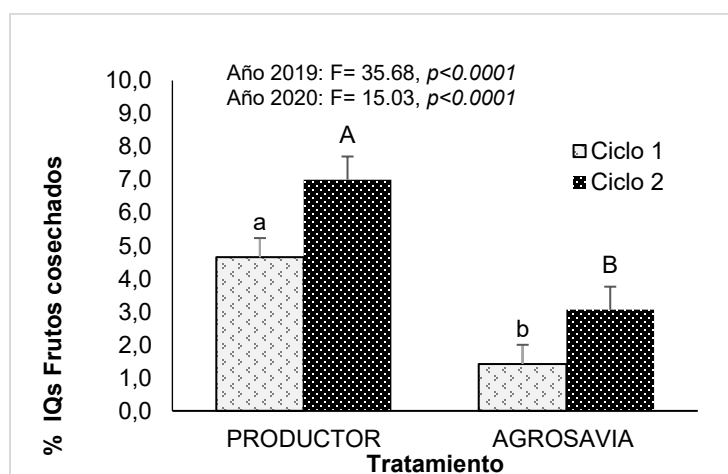


Figura 6. Evaluación de Infecciones quiescentes (IQs) en frutos cosechados en almacenamiento. Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas en $p < 0,05$. Las barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.

La presencia de la enfermedad en frutos cosechados y dispuestos simulando almacenamiento o anaquel a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, mostró diferencias significativas entre los frutos almacenados del tratamiento manejo productor y tratamiento manejo Agrosavia. Para el año 2019, los frutos almacenados del tratamiento manejo Agrosavia presentaron una incidencia de la enfermedad del 0,75%, mientras que los frutos cosechados y almacenados del tratamiento manejo del productor para el mismo año en las mismas condiciones de almacenamiento, la enfermedad fue del 4,04%, se presentó una diferencia significativa de la enfermedad en los frutos de los dos tratamientos para ese año de evaluación, indicando que las prácticas de manejo en el tratamiento manejo Agrosavia ejercen una reducción de la enfermedad al final de la cosecha.

Para el año 2020, la evaluación de los frutos cosechados y almacenados bajo la misma condición ambientales de almacenamiento, mostraron que la incidencia de la antracnosis en los frutos del tratamiento manejo Agrosavia fue del 2,48%, en relación con los frutos de mango cosechados en el tratamiento manejo productor y almacenados en las mismas condiciones ambientales donde la incidencia de la enfermedad fue del 7,91% (Figura 5).

Una de las explicaciones del porque hubo un pequeño aumento en las IQs en almacenamiento en los tratamientos; posiblemente fue debido a que en el tratamiento manejo Agrosavia, no se aplicaron controles al tratamiento, durante 3 meses por restricción de movilidad por pandemia, por otro lado, se presentó un periodo de verano prolongado, y para esa época los frutos de mango estaban en cuaje y amarre, lo cual pudieron haberse infectado por IQs y versen reflejado al final de la cosecha principalmente en almacenamiento, además que las condiciones de temperatura máximas le favorecieron para la abundancia de IQs en frutos.

La investigación muestra el efecto que tienen las prácticas de manejo desde la etapa inicial de producción de los árboles de mango y el manejo agronómico que se debe realizar en un cultivo. Una de las etapas más críticas, donde se generan las mayores pérdidas de la fruta cosecha es en almacenamiento o anaquel. Pero cuando se realiza un manejo técnico, adecuado con una nutrición acorde a las necesidades del cultivo y un manejo de podas siguiendo los parámetros fisiológicos de la planta y la aplicación de controles en las etapas más críticas de producción de los árboles de mango se puede reducir la incidencia y severidad de la enfermedad, desde floración pero con excelentes resultados en la fruta cosechada, permitiendo que la fruta después de cosechada tenga mayor sanidad en los sitios de acopio y tiendas de distribución.

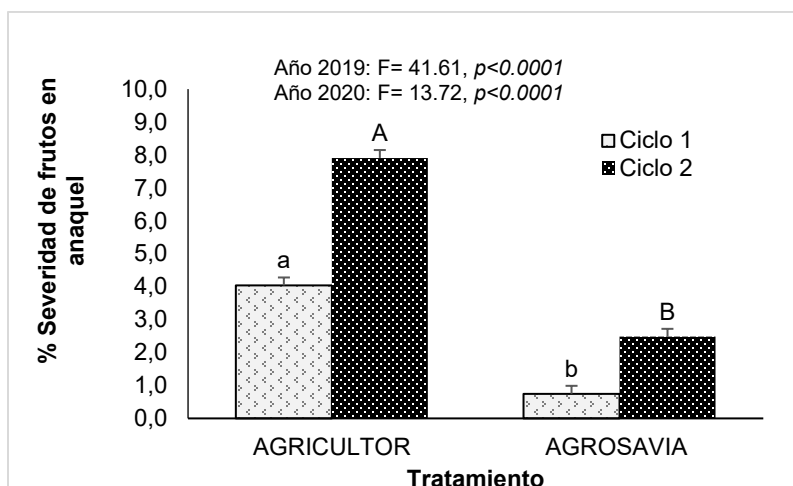


Figura 7. Severidad de la enfermedad en frutos en almacenamiento o anaquel. Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas en $p < 0,05$. Las barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.

Los resultados arrojados en este estudio, en términos de rendimiento de cosecha por árbol y por hectárea de fruta cosechada, para los tratamientos manejo Agrosavia y manejo productor, muestran diferencias significativas entre los dos tratamientos. Para el año 2019, los árboles de mango del tratamiento manejo Agrosavia tuvieron una producción aproximada de 8.086 toneladas por hectárea. Mientras que la producción de fruta de mango del tratamiento manejo productor para el mismo año fue de 5,081 toneladas por hectárea, obteniéndose un rendimiento significativo para el tratamiento manejo Agrosavia, muy similar a lo indicado en los promedios establecidos por el ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, que indican un rendimiento promedio por hectárea de 9 toneladas para el año 2019. Los rendimientos de fruta cosechada de mango para el año 2020 en el tratamiento manejo Agrosavia, tuvo una producción aproximada de 10,838 toneladas por hectárea, mientras que el tratamiento manejo productor, la producción fue de 7,569 toneladas aproximadas por hectárea. (Figura 6).

Lo que indicó este estudio fue que, a pesar de evidenciarse que los efectos de la aplicación de aplicados del manejo son un poco tardíos en los árboles con manejo, principalmente observado en el tratamiento Agrosavia, se evidencia un rendimiento significativo para el tratamiento Agrosavia en comparación con el tratamiento manejo productor, con un aumento significativo en toneladas de fruta cosechada para el tratamiento manejo Agrosavia en año 2020 (Figura 5). En la figura 5 el gráfico las barras muestran el peso en

kilogramos, lo cual la conversión en los resultados se estableció en el texto en toneladas por tratamiento.

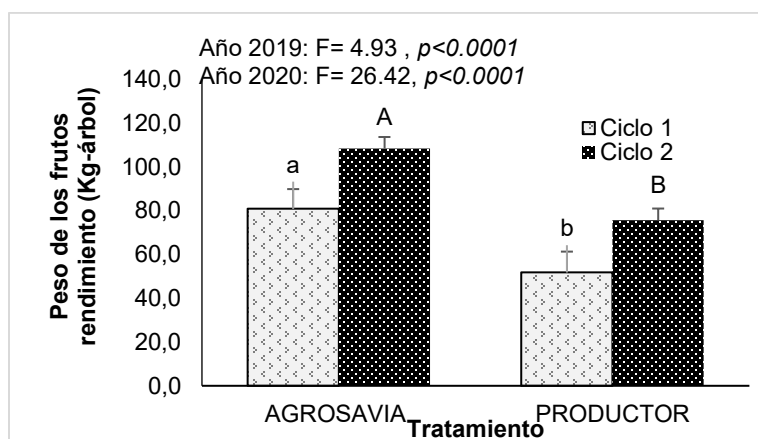


Figura 8. Peso de los frutos de mango (kg-árbol). Rendimiento Prueba LSD de Fischer entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas en $p < 0,05$. Las barras colgantes representan $\pm 95\%$ de confianza.

Los resultados finales de este estudio mostraron diferencias significativas entre tratamientos, indicando que las prácticas agronómicas aplicadas a los árboles de mango Tommy Atkins del tratamiento manejo Agrosavia redujeron la incidencia de la antracnosis desde floración hasta cosecha, aumentaron el peso, rendimientos por tonelada de fruta cosechada, indicando la importancia de realizar un manejo adecuado, aplicando prácticas culturales combinadas con una adecuada nutrición que sustituya las necesidades del árbol de mango. Si se establece un plan de control para reducir la enfermedad en el cultivo con productos químicos según diagnóstico que se realice si es necesario, el uso debe con productos químicos debe ser de carencia corta, de baja toxicidad y aplicarse principalmente en la etapa de reposo de los árboles de mango, el objetivo es reducir inóculo quiescente existente en hojas, rotando el ingrediente activo de los fungicidas para evitar resistencia del patógeno (figura 7).

Las prácticas de control de la enfermedad deben ser preventivas acorde con los riesgos principalmente factores asociados con el clima y la fenología del cultivo, el manejo adecuado no solo contribuye con el control de la enfermedad en las etapas más críticas de producción, si no que aumenta los rendimientos, y calidad de la fruta cosechada, este estudio también mostró la eficiencia que tienen los productos biológicos y los extractos que hay disponibles en el mercado, y que fueron aplicados en la etapa final de maduración de

Los frutos de mango, según autores indican que el uso de productos biológicos controlan la enfermedad y se disminuye el impacto ambiental negativo que genera el mal uso de productos de síntesis química, el uso de productos biológicos permiten que la fruta al final de la cosecha esté libre de trazas de químicos, y es considerada una fruta de calidad y de óptimas condiciones para el consumo directo de las familias (Fallahzadeh *et al.*, 2020).

Las prácticas de manejo con enfoque preventivo como podas, nutrición y aplicación de controles realizadas al tratamiento manejo Agrosavia, coinciden con estudios previos que sugieren que el manejo integrado del cultivo de mango Tommy Atkins (MIC) reducen la incidencia de antracnosis si no de muchas otras enfermedades y plagas asociadas al cultivo de mango, mejorando rendimientos y calidad de la fruta al final de cosecha (Valentín *et al.*, 2018; Fallahzadeh *et al.*, 2020). Confirmando que la implementación de prácticas culturales adecuadas se traduce en una mayor rentabilidad para los agricultores de diversas variedades de frutales.

El control de la enfermedad puede ser de mayor impacto en la fruta cosechada, al reducir las pérdidas que se general que van desde el 80% hasta un 100% en fruta almacenada de mango cuando la incidencia de la enfermedad es altamente agresiva desde cultivo, por lo general los síntomas no se visualizan en fruta en proceso de cosecha y maduración, pero su expresión de daño se genera en almacenamiento, como se indica en la Figura 6.



Figura 9. Efecto de los tratamientos en frutos postcosecha. a. Cosecha de frutos en campo. b. Selección y desinfección de frutos. c. Montaje de frutos en cámaras húmedas. d. Presencia de IQs en frutos del tratamiento manejo Agrosavia. e. Presencia de IQs en frutos del tratamiento productor. f. Montaje de frutos en almacenamiento o anaquel. g. Severidad de antracnosis en frutos almacenados tratamiento manejo Agrosavia. h. Severidad de antracnosis en frutos almacenados tratamiento manejo productor. Fotos: Emerson Rojas – Juan Hio. (2019 – 2020).

Uno de los aspectos fundamentales de gran importancia a considerar por las implicaciones negativas que genera el uso inadecuado e intensivo de insumos químicos, impactos negativos tanto para los ecosistemas donde se cultiva mango, sino también para las comunidades de humanos y de especies biológicas que ahí habitan. Uno de los principios que entidades gubernamentales nacionales e internacionales exigen a la producción mundial no solo de mango si no de frutales en general, es que se disminuya el uso de químicos, que los productos de consumo directo como la fruta del mango esté libre de trazas de químicos que sin ningún riesgo esta pueda contribuir al rol alimentario de muchas comunidades, locales, nacionales e internacionales (FAO, 2018; Miyinzi et al., 2020). Esto indica que el esquema preventivo de manejo que se usó en contribuye con la sostenibilidad en la agricultura frutícola colombiana.

Finalmente, el estudio mostró un control positivo y significativo de la enfermedad en la fruta durante las etapas fenológicas de producción del cultivo de mango, pero también un control relevante de la enfermedad en la fruta almacenada, siendo este aspecto un indicador excelente como referente para las exportaciones de fruta fresca, al general una mayor sanidad y duración de esta en anaquel o sitios de almacenamiento. Posibilitando tener fruta sana en periodos de tiempo más largos, sin que la fruta presente síntomas de la enfermedad.

CONCLUSIONES

Las prácticas de manejo implementadas en el tratamiento manejo Agrosavia, poda, nutrición adecuada y uso de productos de bajo impacto toxicológico, demostraron ser fundamentales para disminuir la enfermedad en frutos cosechados. Las intervenciones con productos biológicos para el control de la enfermedad benefician la productividad de fruta de mango al estar libre de trazas de químicos, la calidad en aspectos físicos y sanitarios de la fruta muestran que no es necesario depender de insumos químicos, los productos biológicos garantizan una producción más saludable para el consumidor y menos perjudicial para el medio ambiente.

El manejo preventivo de la antracnosis en mango realizado al tratamiento manejo Agrosavia durante los años 2019 y 2020, permitieron tener mayores rendimientos y calidad de la fruta

cosechada en contraste con el manejo del tratamiento productor que fue menor en rendimientos. Por otro lado, se disminuyó el impacto ambiental generado cuando el uso irracional de químicos es frecuente durante la etapa productiva de los árboles de mango.

Se encontró en este estudio que las prácticas de manejo preventivas aplicadas al tratamiento manejo Agrosavia disminuyeron la enfermedad en los árboles de mango en campo, obteniéndose un mayor rendimiento y sanidad de la fruta cosechada en el segundo año de evaluación con las prácticas de control aplicadas, permitiendo una mayor vida útil a la fruta en anaquel o almacenamiento a través del tiempo. Se puede concluir también que con el manejo preventivo se pudieron reducir las pérdidas en anaquel o almacenamiento hasta en un 40% con respecto al tratamiento con manejo del productor.

Esta investigación fue aprobada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA C.I. Tibaitatá Km 14 vía Mosquera Cundinamarca.

REFERENCIAS

- BETANCOURT, E Y N., CHAVIANO, A R., HERNÁNDEZ-MENDOZA, N., & GAITÁN, C E L. (2023, June 16). Análisis del comercio de mango en el marco del T-MEC, un análisis de competitividad. Ciencia Y Tecnología Agropecuaria, 24(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:3267.
- CORKIDI, G., BALDERAS-RUÍZ, K.A., TABOADA, B., SERRANO-CARREÓN, L. AND GALINDO, E. (2006), Assessing mango anthracnose using a new three-dimensional image-analysis technique to quantify lesions on fruit. Plant Pathology, 55: 250-257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01321.x>
- DOFUOR, A K., QUARTEY, N K., OSABUTEY, A F., ANTWI-AGYAKWA, A K., ASANTE, K., BOATENG, B O., ABLORMETI, F K., LUTUF, H., OSEI-OWUSU, J., OSEI, J H N., EKLOH, W., LOH, S K., HONGER, J O., AIDOO, O F., & NINSIN, K D. (2023, August 24). Mango anthracnose disease: the current situation and direction for future research. Front. Microbiol. 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1168203>.

- FALLAHZADEH, HUSSEIN & KARIMI, JAVAD & GAUGLER, RANDY. (2020). Biological Control Chance and Limitation within Integrated Pest Management Program in Afghanistan. *Egyptian journal of pest control*. 21. 10.1186/s41938-020-00264-7.
- FAO. (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. In Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>.
- GARCIA, L. J. (2011). Fenología del cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) en el Alto y Bajo Magdalena: bases conceptuales para su manipulación. Colombia. Corpoica. 2011. Editorial Produmedios. 76 p.
- GARCÍA-MAHECHA, M., SOTO-VALDEZ, H., CARVAJAL-MILLAN, E., MADERA-SANTANA, TJ, LOMELÍ-RAMÍREZ, MG, & COLÍN-CHÁVEZ, C. (2023). Compuestos Bioactivos en Extractos de Residuos Agroindustriales de Mango. *Moléculas*, 28 (1), 458. <https://doi.org/10.3390/molecules28010458>.
- JIANG, Z., LI, R., TANG, Y Y., CHENG, Z., QIAN, M., WEN, L., & SHAO, Y. (2022, January 1). Transcriptome Analysis Reveals the Inducing Effect of *Bacillus siamensis* on Disease Resistance in Postharvest Mango Fruit. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 11(1), 107-107. <https://doi.org/10.3390/foods11010107>.
- JIMÉNEZ-MALDONADO, MARÍA ISABEL, TOVAR-PEDRAZA, JUAN MANUEL, LEÓN-FÉLIX, JOSEFINA, MUY-RANGEL, MARÍA DOLORES, & ISLAS-OSUNA, MARÍA AUXILIADORA. (2022). Respuesta fisiológica y calidad de mango cv Ataulfo infectado por *Colletotrichum* spp. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(6), 1103-1115. Epub 24 de febrero de 2023. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3028>.
- LIANG, Y.-S., FU, J.-Y., CHAO, S.-H., TZEAN, Y., HSIAO, C.-Y., YANG, Y.-Y., CHEN, Y.-K. Y LIN, Y.-H. (2022). La aplicación poscosecha del caldo de fermentación PMB04 de *Bacillus amyloliquefaciens* reduce la aparición de antracnosis en la fruta del mango. *Agriculture*, 12 (10), 1646. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101646>.
- MIYINZI M. (2020). Health and environmental effects of adopting an integrated fruit fly

management strategy among mango farmers in Kenya. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 15(1), 14–26.

MOHAMAD, A H H., AB-RAHIM, R., & MOHAMAD, N N. (2022, May 3). Competitiveness of Mango es in Southeast Asian Region., *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 12(5). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v12-i5/13265>.

NDLELA, S., OBALA, F., MWANDO, N L., MKIGA, A M., AZRAG, A G A., & MOHAMED, S A. (2022, April 19). Hot Water Disinfestation Treatment Does Not Affect Physical and Biochemical Properties of Export Quality Mango Fruit [*Mangifera indica* L.]. *Multidisciplinary*, 12(5), 570-570. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050570>.

OLIVARES-SALAZAR, L E., & VILLALOBOS-CASTRO, Á D. (2022, July 1). Beneficios nutricionales del mango y seguridad alimentaria. Una mirada desde las estrategias didácticas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 7(2), 97-97. <https://doi.org/10.35381/r.k.v7i2.1841>.

OSUNA-ENCISO, T., PÉREZ-BARRAZA, M. H., MARTÍNEZ-ALVARADO, C. O., HERNÁNDEZ-VERDUGO, S., OSUNA-RODRÍGUEZ, J. M., & MARTÍN-MATHEIS, H. S. (2023). Retraso de floración y calidad del fruto de mango Kent en el sur de Sinaloa, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(4), 389-397.

PÁEZ, A. (2020). Biología y manejo de estados quiescentes de *Colletotrichum* spp. en mango cultivar Azúcar, en el departamento del Magdalena, Colombia [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/82503/5056184>. 2020. Pdf sequence=2&isAllowed=y.

RAMÍREZ, C D H. (2022, June 5). uso del sistema de apoyo a la decisión (sad) en el manejo integrado de *Phytophthora infestans* (Mont.) de bary, en el cultivo de papa *Solanum tuberosum*., 1(1), 1-12. <https://doi.org/10.47187/reciena.v1i1.3>.

SANCHEZ-ARIZPE, A., GALINDO-CEPEDA, M. E., ARISPE-VAZQUEZ, J. L., GENIS-VELAZQUEZ, R., VAZQUEZ-BADILLO, M. E., & ANTONIO-BAUTISTA, A. (2021).

Natural resistance of two mango 'Mangifera indica' L. commercial cultivars to anthracnose caused by 'Colletotrichum gloeosporioides' Penz. Penz. and Sacc. Australian Journal of Crop Science, 15(8), 1198-1203.

SILVEIRA, A C., RODRÍGUEZ, S., KLUGE, R A., PALARETTI, L F., INESTROZA-LIZARDO, C., & ESCALONA, V. (2022, January 5). Non-destructive techniques for mitigating losses of fruits and vegetables. Agrocienc Urug [Internet], 25(NE2). <https://doi.org/10.31285/agro.25.850>.

TAREKEGN, K., & KELEM, F. (2022, January 30). Assessment of Mango Post-Harvest Losses along Value Chain in the Gamo Zone, Southern Ethiopia. Taylor & Francis, 22(1), 170-182. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2025194>.

TORRES, R., BAYUELO-BONILLA, S., CARPIO-ORTIZ, L., BARRETO-RODRÍGUEZ, G E., & TIRADO, D F. (2022, July 15). High-Intensity Ultrasound-Assisted Extraction of Pectin from Mango Wastes at Different Maturity. Hindawi Publishing Corporation, 2022, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2022/4606024>.

VALENTÍN, A., NORIEGA-CANTÚ, DAVID DOMÍNGUEZ- MÁRQUEZ, V. M., & GARRIDO-RAMÍREZ, E. R. (2018). Efecto de dos intensidades de poda sobre variables de calidad del mango (Mangifera indica L.) cv. Ataulfo. 5(1), 30–37.

4.3 Nuevas tecnologías para en control y manejo de la antracnosis en mango Tommy Atkins en Tocaima Cundinamarca – Colombia

Juan Clímaco Hio, Erika Patricia Martínez, Diego Alejandro Rojas, Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo

Resumen

La antracnosis del mango ocasionada por el complejo *Colletotrichum gloeosporioides* ocasiona pérdidas entre el 30 y 40% en cultivo, un 80% a 100 % en cosecha, almacenamiento y anaquel. La variabilidad climática es un factor de riesgo asociado a la presencia y el desarrollo de Infecciones quiescentes (IQs) y a la incidencia y severidad de la enfermedad en árboles de mango. Se evaluó el efecto del microclima y la distribución de las infecciones quiescentes IQs en hojas y ramas en tres estratos de árboles de mango durante los años 2019 y 2020, además, se elaboró y aplicó un esquema de manejo preventivo integrado de la enfermedad. La evaluación del microclima se realizó en árboles de mango del tratamiento Agrosavia, el diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, 16 árboles por repetición y cuatro árboles para seguimiento del microclima e IQs en los tres estratos. Se realizó manejo integrado con podas, nutrición, fungicidas y biológicos en las etapas de descanso y producción, el monitoreo de las variables de microclima se ejecutó mediante sensores tipo USB marca EXTECH RHT10®, colocados en cada estrato; el monitoreo del microclima y las IQs se realizó cada 30 días, el manejo preventivo integrado, redujo en un 20 % las IQs en hojas y ramas. El microclima presentó diferencias significativas entre estratos, las IQs residen en mayor cantidad en el estrato alto de los árboles de mango en hojas y ramas. La humedad relativa menor a 50 % y la temperatura máxima mayor a 30 °C aumentan las IQs en hojas y ramas, mientras que la precipitación, la temperatura mínima y la humedad relativa por encima de 70 %, aumentan la incidencia y severidad de la enfermedad en flores y frutos. Con base en estos resultados se propone un esquema preventivo integrado de manejo de la antracnosis para las condiciones de cada sitio de cultivo.

Palabras clave: *Mangifera indica*, microclima, infecciones quiescentes, manejo integrado

Abstract

Mango anthracnose, caused by the *Colletotrichum gloeosporioides* complex, results in losses of 30-40% in the field and 80-100% during harvest, storage, and shelf life. Climate variability is a risk factor associated with the presence and development of quiescent infections (QIs) and with the incidence and severity of the disease in mango trees and the crop in general. The effect of microclimate and the distribution of quiescent infections (QIs) on leaves and branches in three strata of mango trees were evaluated in 2019 and 2020. An integrated preventive management scheme for the disease was developed and implemented. The microclimate assessment was carried out in the Agrosavia treatment, The experimental design was a randomized complete block design (RCBD) with four replicates, 16 trees per replicate, and four trees for monitoring microclimate and QIs in the three strata. Integrated management practices were implemented, including pruning, nutrition, fungicides, and biological control agents, during dormancy and production stages. Microclimate variables were monitored using EXTECH RHT10® USB sensors placed in each canopy stratum. Microclimate and IQ monitoring was performed every 30 days. Integrated preventative management reduced IQs in leaves and branches by 20%. The microclimate showed significant differences between strata. IQs reside in greater quantities in the upper stratum of mango trees in leaves and branches, affecting leaves and branches. Relative humidity below 50% and maximum temperatures above 30°C increased IQ in leaves and branches. Precipitation, minimum temperatures, and maximum relative humidity above 70% increased the incidence and severity of the disease in flowers and fruit. Based on these results, an integrated preventive scheme for managing anthracnose is proposed for the conditions of each cultivation site.

Keyword: microclimate, anthracnose dynamics, quiescent infections, technologies, preventive management.

Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más demandadas a nivel mundial, según FAOSTAT (2023) en el mundo se producen aproximadamente 70 millones de toneladas de mango al año. La industria se basa principalmente, en la elaboración de productos a base de pulpa como: concentrados, jugos, mermeladas, gelatinas, barras de fruta entre otros. (Rojas *et al.*, 2020).

Los principales países productores de mango en millones de toneladas año en el mundo son: India (24.75), Indonesia (3.62), China (2,54), México (2.38), Pakistán (2.34), Brasil (2.14), Malawi (1.93), Tailandia (1.65), Bangladés (1.45), Egipto con (1.40), los cuales representan más de la mitad del volumen mundial, superando el 53%. (Martínez-Hernández *et al.*, 2025).

El mango es la quinta fruta fresca más exportada de Colombia después del banano, aguacate Hass, lima Tahití y Gulupa. Según la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) y la Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex), las exportaciones de mango, entre enero y junio de 2024 ascendieron a US\$7,3 millones con un incremento de 13,2% frente al mismo semestre de 2023, año en el que las ventas en el exterior crecieron en un 47% frente a año 2022. (FAOSTAT, 2022; MADR, cadena del mango 2023).

En Colombia, para el año 2023 se cultivaron alrededor de 28.246 hectáreas de mango de las cuales el 68 % del área cultivada se concentró en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Magdalena. El incremento anual de producción de la fruta de mango en los principales departamentos productores se ha mantenido por encima del 2,6%, con una producción aproximada de 298.612 t/ha/año y un rendimiento promedio de 12 t/ha/año. El departamento del Tolima tuvo un rendimiento de 15.8 t/ha/año, Magdalena 11.5 Ton/ha/año y Cundinamarca 9.4 t/ha/año; siendo el departamento de Cundinamarca con la mayor área cultivada, pero con el promedio de rendimiento más bajo del país (MADR, cadena del mango (2023).

Las variedades de mango más cultivadas en el municipio de Tocaima Cundinamarca en su orden son: mango Tommy Atkins, Keitt y mango Hilacha (FAO, 2020). Colombia exportó en

2022, un equivalente en dólares de 2,2 millones, con destinos a Canadá, Francia y Reino Unido y Estados Unidos (FAOSTAT, 2022).

El cultivo de mango genera 11.701 empleos directos y más de 2.500 empleos transitorios, con grandes beneficios económicos para las comunidades que habitan en las zonas productoras, mejorando de esta manera la calidad de vida tanto de los productores como de sus habitantes y comunidad en general (SIOC, MADR, cadena del mango, 2021).

En el departamento de Cundinamarca se cultivan, las variedades comerciales de mango Tommy Atkins, mango Hilacha y mango Keitt; en el municipio de Tocaima se cultiva principalmente mango Tommy Atkins, siendo una de las variedades de mango que genera la principal fuente de ingreso de los pequeños productores Hio *et al.*, (2024).

El municipio de Tocaima es catalogado como el municipio, que produce el mejor mango Tommy Atkins en cuanto a calidad, color y sabor, pero que en los últimos años afronta una serie de problemas a nivel de producción por el incremento de problemas sanitarios en los cultivos, (Gómez-Ramírez *et al.*, 2022; Martínez-CnHINGUACHI, *et al.*, 2019; Arcila-Cardona *et al.*, 2022).

En cuanto a la enfermedad más limitantes en la producción de mango Tommy Atkins y otras variedades, es la antracnosis, ocasionada por el complejo *Colletotrichum gloeosporioides*, ocasionado impacto social y económico en los productores (Palomo *et al.*, 2023; Osorio *et al.*, 2012; Páez, 2020; Hio *et al.*, 2024). La antracnosis es considerada una de la mayor limitante en la producción de mango, ocasionando pérdidas en floración, cuaje de fruto o amarre, así como frutos en proceso de maduración hasta en un 30 a 40 % en cultivo, con pérdidas más elevadas en poscosecha, alcanzando hasta un 100%. (Osorio *et al.*, 2012; Páez, 2020; Cantú & Ariza *et al.*, 2024; Osuna-Enciso, *et al.*, 2023).

El ineficiente e inadecuado manejo integrado del cultivo de mango por parte de los productores ha permitido la supervivencia, dinámica del inóculo y de la enfermedad de *C. gloeosporioides* y sus diversas formas de latencia o quiescencia en algunos órganos reproductivos de los árboles de mango, principalmente en hojas, ramas, frutos en procesos de maduración, pedúnculos etc. (Normand *et al.*, 2015).

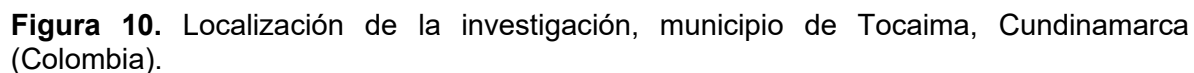
El inóculo quiescente y su dinámica contempla una alta relación entre las estructuras del hongo como los acérvulos, esporas volátiles, y las condiciones meteorológicas, el viento, la precipitación, la temperatura, el inadecuado y mínimo manejo agronómico (Tovar-pedraza & Leiva *et al.*, 2020; Ruiz campos, 2022; Osuna-Enciso, *et al.*, 2023) que pueden aumentar o disminuir los rendimientos y calidad de la fruta cosechada. Durante las últimas décadas, la antracnosis ha generado un impacto económico negativo a productores de mango, principalmente en almacenamiento (Galán 1999; Páez 2020; Zhafarina *et al.*, 2021).

La prevención y manejo de antracnosis en mango es muy ambigua, poco uso de tecnologías innovadoras para el manejo de la enfermedad, el principal control está basado en la aplicación de fungicidas químicos, mínima nutrición, mínima disponibilidad de riego, poca implementación de controles culturales (Galán 1999; Páez 2020; Zhafarina *et al.*, 2021; Hio *et al.*, 2024). En promedio en Colombia, se realizan hasta doce aspersiones de fungicidas por ciclo de cosecha. Siendo poco satisfactorios el control de la enfermedad (Páez, 2003; Sierra 2021; Hio *et al.*, 2024), pero con grandes repercusiones en la fruta cosechada por las trazas y el impacto ambiental negativo que se genera en las zonas de cultivo (Yu *et al.*, 2016, Jaramillo *et al.*, 2016).

El objetivo de esta investigación fue establecer el efecto del microclima sobre la dinámica y distribución de las IQs de *Colletotrichum gloeosporioides* en los tres estratos de árboles de mango Tommy Atkins en el municipio de Tocaima Cundinamarca, e implementar o proponer un esquema de manejo preventivo de las IQs y de la enfermedad a partir de la implementación de tecnologías innovadoras que permitan disminuir el inóculo y la enfermedad durante las diferentes etapas productivas y fenológicas de los árboles de mango en los sitios de cultivo, de esta manera el productor de mango mejore su calidad de vida en lo social, económico.

Materiales y métodos

Este estudio se desarrolló en Colombia, departamento de Cundinamarca municipio de Tocaima vereda Guacaná, finca Guadalajara con las siguientes coordenadas 4°29'12.7"LN – 74°37'13.5"LW , en un cultivo de 200 árboles de mango Tommy Atkins de 7 años de edad en producción con una densidad de siembra de 8x8 m. Suelos caracterizados por tener una textura Franco-Arcillo Arenosa (FArA), pH de ligeramente ácido (6,4), temperatura promedio de 27,4 °C, promedio máximo 36,1 °C y promedio mínima 21,8 °C y una altura



© 1999 Blackwell Science Ltd *Journal of Internal Medicine* 245: 369–375

Las pruebas estadísticas que se aplicaron a los datos fueron: análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$), asumiendo un diseño de bloques completos al azar con observaciones repetidas a través del tiempo (semanas), mediante modelos lineales generalizados mixtos, utilizando el procedimiento GLIMMIX de SAS Enterprise Guide. El modelo estadístico utilizado para el análisis corresponde a la siguiente expresión:

$$Y_{ijk} = \text{Intercepto} + B_i + M_j + S_k + (M*S)_{jk} + e_{iik}$$

Donde:

Y_{ijk} : Variable aleatoria observada.

B_i : Efecto del i-ésimo bloque.

M_j : Efecto del j-ésimo tipo de manejo.

S_k : Efecto de la k-ésima semana.

$(M*S)_{jk}$: Efecto de la interacción manejo*semana.

e_{iik} : Efecto aleatorio (error experimental).

Para establecer el efecto de las variables de micro clima en los estratos (temperatura mínima, máxima y promedio; humedad relativa mínima, máxima y promedio; punto de rocío mínimo, máximo y promedio y precipitación), sobre las infecciones quiescentes en ramas y hojas para cada uno de los tres estratos (alto, medio y bajo) de los árboles de mango, se realizaron análisis de regresión múltiple por pasos, utilizando variables rezagadas para 1, 2, 3, 4, 5 y 6 semanas, mediante el procedimiento STEPWISE del mencionado software. La forma general de los modelos propuestos corresponde a la misma expresión de los modelos anteriores:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_K X_{ki} + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

K = Número máximo de variables independientes incluidas en el modelo.

Donde Y es la variable dependiente (variables relacionadas con infecciones quiescentes (%), en ramas y hojas), X corresponde a las condiciones climáticas, y a los residuales y β a los parámetros del modelo (intercepto y coeficientes de regresión de la k de las variables micro climáticas).

Plan de fertilización

El plan de fertilización y correctivos al suelo se realizó en el primer semestre del 2019 y 2020, solo para el tratamiento manejo Agrosavia y fue acorde a los resultados de los respectivos análisis físicos y químicos y foliar realizado a los árboles de mango del tratamiento.

Los análisis arrojaron suelos (FArA) Franco Arcillo-Arenosos con un pH 6,41, ligeramente ácido, con (Mo) materia orgánica alta, fósforo (P) alto, potasio (K) alto, calcio (Ca) alto, hierro (Fe) alto, y Zinc (Zn) alto, elementos menores como el azufre (S) disponible bajo, el manganeso (Mn) y el boro (B), razón por la cual no se realizó fertilización edáfica con fertilizantes compuestos en el primer año.

Para mejorar el pH se aplicó cal agrícola en una dosis de 2 Kg por árbol, para ayudar a corregir el hierro y el zinc, se aplicó al suelo compost (lombricomposta) reforzado con *Trichoderma* sp (2 cc/L) y *Bacillus subtilis* (1.5 cc/L); y se aplicó después de la mezcla una dosis de 2 kilos por árbol cada 15 días en tres aplicaciones.

Para corregir la deficiencia de (azufre, manganeso y Boro) se realizaron aplicaciones foliares, cada 30 días por 3 meses, con los productos comerciales Borax® en una dosis de 0.2 kg/ha, el fungicida a base de azufre (Azuco®) en mezcla con el producto comercial a base de sulfato de manganeso en una dosis de 1, 5 a 2 Kg / ha, cada 30 días, se utilizaron correctores de agua y regulador de pH, para garantizar una eficiencia de los nutrientes en el follaje, estos correctivos se realizaron en el año 2019; el productor, solo realizó a su tratamiento una sola aplicación de fertilización comercial granulado 10-30-10 ® no realizó otro tipo de tratamiento.

Plan de podas

Se realizó al tratamiento manejo Agrosavia y se inició con: reducción de copa de los árboles de mango dejando los árboles de mango al final de la poda a una altura de cinco metros, poda de producción (despunte de ramas), poda sanitaria, eliminación de pedúnculos enfermos, frutos momificados, eliminación de ramas improductivas etc.) las podas sanitarias y de producción, se realizaron después de cada cosecha (etapa de reposo, cero producciones de los árboles). Las herramientas utilizadas en las podas después de cada poda fueron desinfectadas con: hipoclorito de sodio al 2% y alcohol del 70%.

Terminadas las podas, se realizó una cicatrización a los cortes objeto de las podas; se utilizó una mezcla previamente preparada (pintura de aceite vinilo tipo uno + oxiclورو de cobre y el insecticida ingrediente Activo lambda-cihalotrina, la cicatrización se hizo para evitar daños por hongos, bacterias, comején o hormigas. El tratamiento manejo productor no tuvo ningún tipo de manejo con respecto a podas.

Control de IQs y de la enfermedad en tratamiento manejo Agrosavia

Se aplicó, en la etapa previa a la floración, etapa vegetativa, el ingrediente activo, sulfato de cobre pentahidratado en una dosis de 2 cc/L, después de las podas, solo se aplicó una vez, en árboles que no presentaban floración o fructificación, es posible ocasionar lesiones con quemaduras las inflorescencias o en frutos, el producto solo se aplicó a nivel foliar como preventivo y controlador de (IQs) en hojas y ramas (Martinez et al. en 2012), un mes después se aplicó a nivel foliar el producto biológico ingrediente activo (*Bacillus subtilis*) en una dosis de 1,5 cc/L, cada 2 meses, en floración, fructificación y en fruta en proceso de maduración.

En la etapa de floración se aplicó, el fungicida químico preventivo capta en dosis de 2 g/L, 30 días después se aplicó el químico sistémico (Azoxistrobin + difeconazol en dosis de 1cc/L, 30 días después se aplicó (*Bacillus subtilis* en dosis de 1,5 cc/L. El tratamiento del productor no tuvo ningún tipo de manejo

En la etapa de cuaje o amarre de frutos, se hizo control de la enfermedad con el fungicida Propineb en dosis de 2 g/L, 30 días después se utilizaron los bioproductos (*Bacillus subtilis*), en una dosis de 1,5 cc/L. luego se aplicó el biocontrolador (*Paecilomyces* sp) en dosis de 2cc/L durante el proceso de maduración de frutos, cada 30 días, hasta cosecha, el producto fue aplicado para el control de la antracnosis y evitar trazas de químicos en la fruta al final de la cosecha. El productor no realizó ningún manejo al tratamiento a su cargo.

Evaluación de infecciones quiescentes (IQs) en hojas y ramas

De cada tratamiento se seleccionaron y marcaron 20 árboles de los que se tomaron muestras de hojas maduras según la escala BBCH–Biologische Bundesantalt,

Bundessortenamt and Chemische Industrie, cada 30 días. De cada árbol se colectaron 20 hojas al azar, de alrededor del tercio superior de la copa del árbol, el total de muestras (hojas) se empacaron en bolsas plásticas debidamente etiquetadas, se depositaron en recipientes de Icopor y fueron llevadas al Laboratorio de Fitopatología de Agrosavia, Centro de Investigación Tibaitatá, para realizar el envejecimiento de las hojas mediante, la utilización del protocolo previamente evaluado y validado en laboratorio (Agrosavia 2006; Hio *et al.*, 2024)

Envejecimiento de hojas en laboratorio

En laboratorio las hojas correspondientes a cada árbol de mango de los tratamientos fueron, lavadas con agua de grifo para retirar impurezas, después del lavado se colocaron sobre papel Kraft por 10 minutos, de cada árbol se formaron paquetes de 15 hojas, se ataron por el pedúnculo con cinta de enmascarar, para darle identidad de cada árbol, tratamiento y repetición, después, cada paquetes de 15 hojas se colocó en inmersión en una concentración de Paraquat al 4% durante dos horas, que permite un envejecimiento inducido del tejido foliar (Agrosavia, 2006; Hio *et al.*, 2024).

Después de la inmersión de las hojas en la concentración del Paraquat al 4%, se colocaron a escurrir el exceso del Paraquat sobre papel Craf. Escurridas las hojas se colocaron en cámaras Húmedas (cajas plásticas) previamente preparadas. Las cámaras húmedas mantuvieron una humedad interna del 90% y permanecieron por 15 días a $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en incubación, después de incubadas las hojas fueron observadas bajo estereoscopio de contraste de luz a un aumento de 40X. El porcentaje de colonización de IQs sobre la lámina del envés de la hoja fue cuantificado bajo las escalas diagramática modificada y validada como se observa en la Figura 3 (Agrosavia, 2006; Hio *et al.*, 2024).

Evaluación del efecto del microclima sobre la distribución y dinámica de IQs en tres estratos o niveles de la copa de árboles de mango

El seguimiento del microclima y la dinámica del inóculo en los tres estratos, se realizó en cuatro árboles de mango del tratamiento manejo Agrosavia, los árboles tuvieron una división en la copa de cada árbol (alto, medio y bajo), en la parte interna de cada estrato o nivel de cada árbol de mango, se instaló un sensor tipo USB marca EXTECH RHT10®, los

sensores registraron y almacenaron datos de temperaturas máximas y mínimas día/mes, humedad relativa en porcentaje y punto de rocío día/mes; la precipitación acumulada día/mes se capturó mediante el pluviómetro digital instalado en la parcela experimental. La información del microclima de cada estrato almacenada se descargó cada 30 días en un computador portátil mediante el software para Dataloggers USB versión 3.2. Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, considerando el tamaño de la muestra (>5.000 observaciones), y a prueba de homocedasticidad mediante la prueba de Levene.

La evaluación de la dinámica de las IQs se realizó en el tratamiento manejo Agrosavia, en tres estratos; alto, medio y bajo de los árboles seleccionados, se tomaron 20 hojas maduras según escala (BBCH – Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie) y 20 trozos o segmentos de ramas de 10 cm de largo tipo injerto; el sitio de muestreo fue realizado en los cuatro puntos cardinales de cada estrato, el seguimiento y muestreo de hojas y segmentos de ramas se realizó cada 30 días en los años 2019 y 2020. Los segmentos de ramas y hojas colectadas fueron empacados en bolsas plásticas etiquetado y colocado en cajas de Icopor para ser llevados al laboratorio de fitopatología de Agrosavia e iniciar con el envejecimiento y detección de las IQs.

Para la comparación global entre estratos se utilizó la prueba de Dunn con ajuste de p-valores y se graficaron los resultados para cada parámetro con intervalos de confianza al 95% y letras de significancia. Los análisis estadísticos se realizaron en RStudio (versión 2024.12.0+467), con las librerías *dplyr*, *statix*, *ggpubrr* y *ggplot2*.

Escalas de evaluación de IQs en hojas y ramas

En laboratorio las muestras vegetales para cuantificar el porcentaje de IQs, se utilizó, los protocolos de envejecimiento validados en (Agrosavia, 2006; Hio *et al.*, 2024), el porcentaje de inóculo presente en hojas y segmentos de ramas fue cuantificado, mediante las escalas diagramáticas (pictóricas) modificada y validadas (Agrosavia, 2006; Hio *et al.*, 2024). Las lecturas del inóculo IQs se realizó bajo estereoscopio 40X como se observa en la figura 10.

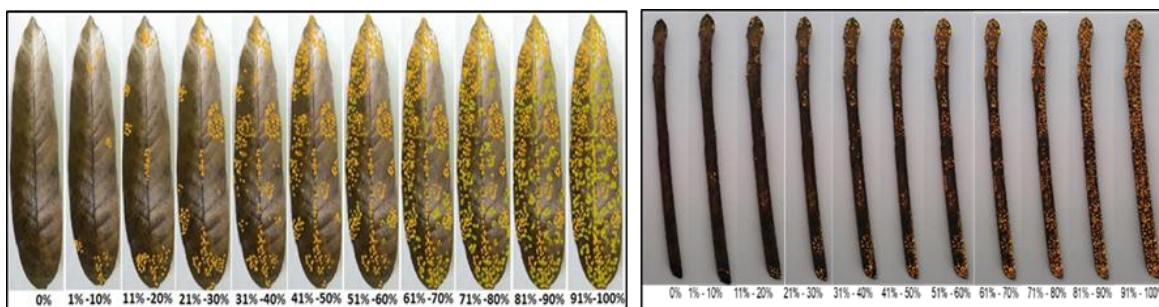


Figura 11. Escalas diagramáticas modificadas y evaluada (Agrosavia, 2006) para cuantificación de porcentaje de colonización de IQs sobre la superficie de hojas y ramas de mango. Elaboración propia.

Resultados y discusión

El Análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$), determinaron que el manejo preventivo integrado (MIC) del cultivo de mango en el tratamiento Agrosavia, con prácticas, podas, nutrición y aplicación de controles (químicos y biológicos), disminuyeron significativamente las IQs en hojas. Para el año 2019 el porcentaje de IQs fue, del 3,4% mientras que la presencia de IQs en el tratamiento manejo productor fue del 7,3%, lo que representa una reducción del 53,42% de presencia de la enfermedad. Para el año 2020, las IQs en hojas, el inóculo latente en hojas para el tratamiento manejo Agrosavia fue del 4,8% mientras que el tratamiento del productor fue del 13,3%, representando una reducción para ese año de 63,90% de presencia de la enfermedad. Se pudo observar que el porcentaje de IQs en el año 2020 aumentó en 1,4%, pero el tratamiento del productor aumentó entre el año 2019 y 2020 en un 6%. Para el segundo semestre del 2019 y primer semestre del año 2020, no fue posible viajar al sitio experimental, por lo tanto, no se aplicaron durante tres meses los respectivos tratamientos al tratamiento Agrosavia, por otro lado, el periodo de verano fue de temperaturas máximas durante los dos años de estudio, estos fenómenos estrían involucrados en los aumentos de la IQs.

Los principales factores asociados a las pérdidas, generadas por la antracnosis en la zona de producción del municipio de Tocaima, se han asociado con: el efecto del cambio climático alterando los ciclos del fenómeno ENSO (fenómeno niño y niña) y marcando en largos periodos de sequía o de precipitaciones en las áreas de cultivo. Estudios de Osorio et al., 2008 indican que los largos periodos de sequía permiten al hospedero mantener residente al inóculo quiescente IQs en hojas y ramas cuando la temperatura máxima supera los 30 °C, los vientos son moderados y la humedad relativa oscila por debajo del 60% y la

radiación es moderada, son condiciones ideales para la residencia y aumento en porcentaje del IQs en hojas y ramas en cultivo, y plántulas de vivero (Osorio et al., 2012, Pardo de la Oz, et al., 2016; Hio et al., 2024).

Investigaciones en cultivares de mango realizadas por (Osorio et al., 2005; 2012), reportan qué, en cultivos de mango de los departamentos de Tolima, Magdalena y Cundinamarca, la presencia de IQs de *C. gloeosporioides* en hojas y ramas de árboles de mango se genera desde vivero hasta árboles en producción, uno de los factores principales que favorece la presencia y abundancia del inoculo quiescente y de la enfermedad es el clima y el deficiente manejo agronómico, Hio et al., (2024).

El estudio también evidenció que factores climáticos como temperaturas máximas superiores a 30°C y humedades relativas bajas (<60%) favorecen el aumento de IQs, lo que coincide con reportes previos sobre la epidemiología de *Colletotrichum gloeosporioides* (Chiguachi et al., 2020; Hio et al., 2024). El uso de un diseño de bloques completos al azar (BCA) con repeticiones y la comparación entre dos tratamientos (manejo integrado Agrosavia y manejo tradicional del productor) demostró ser una estrategia adecuada para evaluar la eficacia de prácticas de manejo en cultivos perennes como el mango (Hio et al., 2024; Batista et al., 2023). Este enfoque permitió controlar la variabilidad ambiental y obtener resultados estadísticamente robustos, especialmente al evaluar variables complejas como las infecciones quiescentes y la dinámica del microclima en diferentes estratos del árbol. La inclusión de evaluaciones periódicas (cada 30 días) y el seguimiento de variables microclimáticas en tres niveles de la copa (alto, medio y bajo) facilitaron la identificación de relaciones causales entre el ambiente y la incidencia de la enfermedad (Hio et al., 2024; Lima et al., 2015).

Se considera que las prácticas de manejo como la nutrición, podas y la aplicación de controles químicos y biológicos ejercieron un control más eficiente de las IQs, siendo mayor el efecto en el control en el año 2020. Es de acotar que para los años 2019 y 2020, en la zona de estudio se presentaron, largos periodos de verano con temperaturas máximas por encima de los 30 °C y bajas humedades por debajo de 60% las cuales indican que son fundamentales para el aumento de IQs en hojas y ramas en los tratamientos.

Estudios que relacionan las infecciones quiescentes como inóculo primario, que generan alta incidencia y severidad de la antracnosis en cultivos de mango, cuando factores de riesgo como el clima favorecen su dinámica y diseminación, son estudios de Osorio *et al.*, 2008, 2009; 2016. Por otro lado, se indica que el inóculo quiescente que reside en hojas de árboles de mango viejos y sin ningún tipo de manejo agronómico son fuente de alto inóculo. Por su parte, Hio *et al.*, (2024), indican que el manejo de podas, productos químicos, productos biológicos y productos a base de extractos de semilla de toronja (Desfam 100) redujeron significativamente las IQs en hojas y la enfermedad en cultivos de mango en Magdalena, Tolima y Cundinamarca.

Por último, todas estas estrategias de manejo integrado preventivo desarrolladas en la metodología aplicada en esta investigación para el control de las IQs y de la enfermedad, el seguimiento del clima y el microclima, la dinámica de la IQs en los estratos, dejó como resultado que a pesar de tan solo dos años de seguimiento y evaluación, las prácticas aplicadas al tratamiento Agrosavia ejercieron un control significativo de la enfermedad en cada una de las etapas, por otro lado, el seguimiento del micro clima en los estratos tiene una gran relación con las IQs y con la enfermedad, de igual manera la dinámica, incidencia y severidad de la enfermedad también tienen una relación muy alta con el clima y el microclima en los árboles de mango y cultivo en general.

Dinámica del del microclima en tres estratos (alto, medio y bajo) en árboles de mango Tommy Atkins

En cuanto a la precipitación, esta fue evaluada como parámetro general para las parcelas experimentales. Respecto a los parámetros de temperatura, humedad relativa y punto de rocío, se observaron diferencias significativas entre estratos, siendo marcada la diferencia en el estrato alto en cuanto a temperatura y humedad relativa (figura 10), La temperatura promedio en el estrato alto fue de 27,5 °C, la temperatura mínima de 24,4 °C y la temperatura máxima de 30 °C, mientras que la humedad relativa promedio fue de 69%, con una humedad relativa mínima del 60% y una humedad relativa máxima de 78%, el punto de rocío promedio en 20 °C, punto de rocío mínimo de 19 °C y punto de rocío máximo de 21 °C figura 10 mostrando diferencias significativas entre estratos.

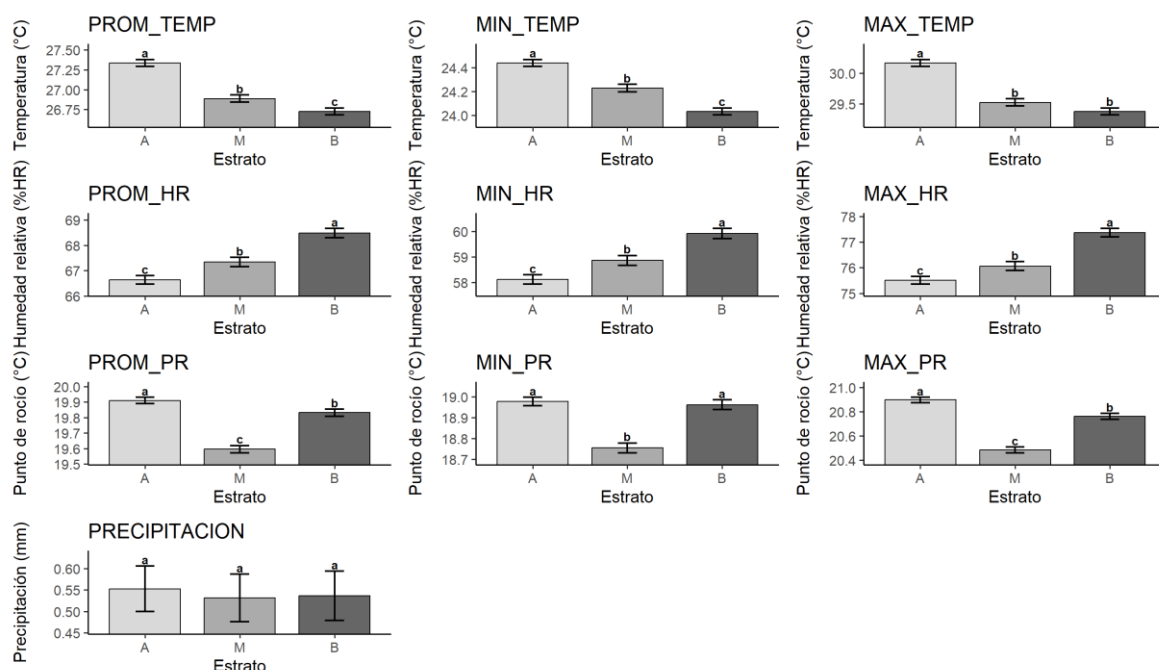


Figura 12. Diferencias entre estratos A: Alto, B: Bajo y M: medio de los árboles mango Tommy Atkins para los parámetros de: 1. Temperatura Promedio (°C), 2. Temperatura máxima (°C), 3. Temperatura mínima (°C), 4. Humedad relativa promedio (% HR), 5. Humedad relativa máxima (% HR), 6. Humedad relativa mínima (% HR), 7. Precipitación acumulada (mm), y 8. Punto de rocío promedio (°C). (R Core Team, 2024).

En Colombia no existen estudios que registren las dinámicas del microclima en estratos de árboles frutales, lo cual es de suma importancia detectar esta dinámica en este estudio, se pudo encontrar que varias de estos parámetros pueden ser positivos o negativos dependiendo del estrato aumentar las IQs o la enfermedad ocasionada por *C. gloeosporioides*, de esta manera tomar decisiones y establecer programas de control de la enfermedad dependiendo de las características de clima en cada sitio de cultivo.

Este hallazgo permite indicar a los productores de mango que, en épocas de temperaturas por encima de los 30 °C, se deben implementar y aplicar herramientas de manejo para reducir el inóculo quiescente, como prácticas culturales relacionadas con las podas, uso de fungicidas sistémicos y de contacto y bioproductos que permitan reducir las IQs en hojas y ramas. Adicionalmente, es importante que los viveristas y el personal de injertadores, antes de proceder a injertar los patrones hagan una buena desinfección del material vegetal obtenido en los cultivares, ya que las baretas para injertación pudieran estar contaminadas con el inóculo quiescente. Uno de los factores importantes que ayuda a que se aumente el

porcentaje de IQs en hojas y ramas es la humedad relativa mínima y la máxima temperatura, principalmente en el estrato alto.

Los factores climáticos que favorecen el desarrollo e incidencia y severidad de la enfermedad, se relaciona con la máxima precipitación, la máxima humedad relativa y el máximo punto de rocío, siendo las etapas fenológicas más vulnerables, la floración, el amarre o cuaje de frutos, y el proceso de maduración de la fruta, con consecuencia significativas de pérdidas en cosecha, almacenamiento, anaquel y tiendas de distribución de la fruta (Silué *et al.*, 2023; Niazi *et al.*, 2022; Corrêa *et al.*, 2023).

Dinámica de las IQs en hojas y ramas de los tres estratos

La dinámica de *C. gloeosporioides* en mango Tommy Atkins, inicia como IQs siendo su nicho de residencia principal el estrato alto de la copa de los árboles de mango, mientras que en los estratos medio y bajo permanecen la IQs en menos cantidad, cuan las condiciones de clima favorecen su dinamismo las esporas provenientes de los acérvulos formados en las infecciones quiescentes son arrastrado por la lluvia llegando a colonizar flores, fruto en cuaje, amarre y frutos en proceso de maduración, almacenamiento y anaquel. Este estudio indicó que el ciclo de la enfermedad inicia con el inoculo primario IQs ubicado en ramas y hojas en la etapa donde los árboles han terminado cosecha y se preparan para la nueva floración, etapa llamada reposo cero producciones, donde por condiciones de clima se aumentan o disminuyen las infecciones quiescentes en hojas y ramas en los estratos figura 11.

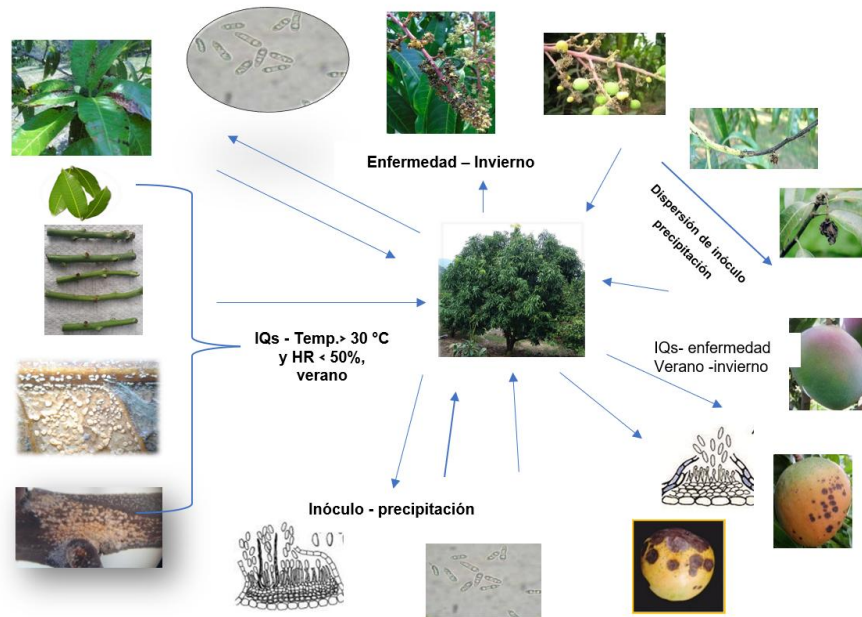


Figura 13. Ciclo de vida de *C. gloeosporioides* en mango, incluidas IQs en hojas y ramas, la enfermedad y las características de clima que ayudan a su incidencia y severidad
Fuente. Elaboración propia con base en (Arauz, 2000; Murray *et al.*, 2019).

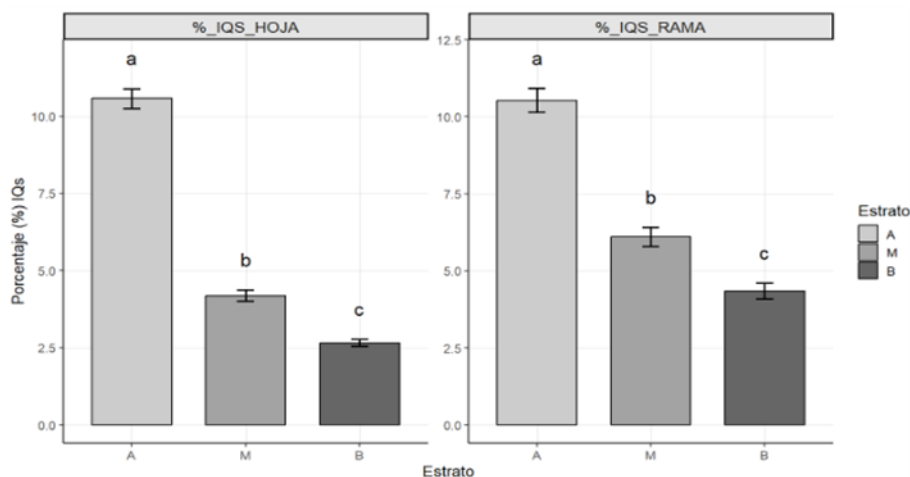
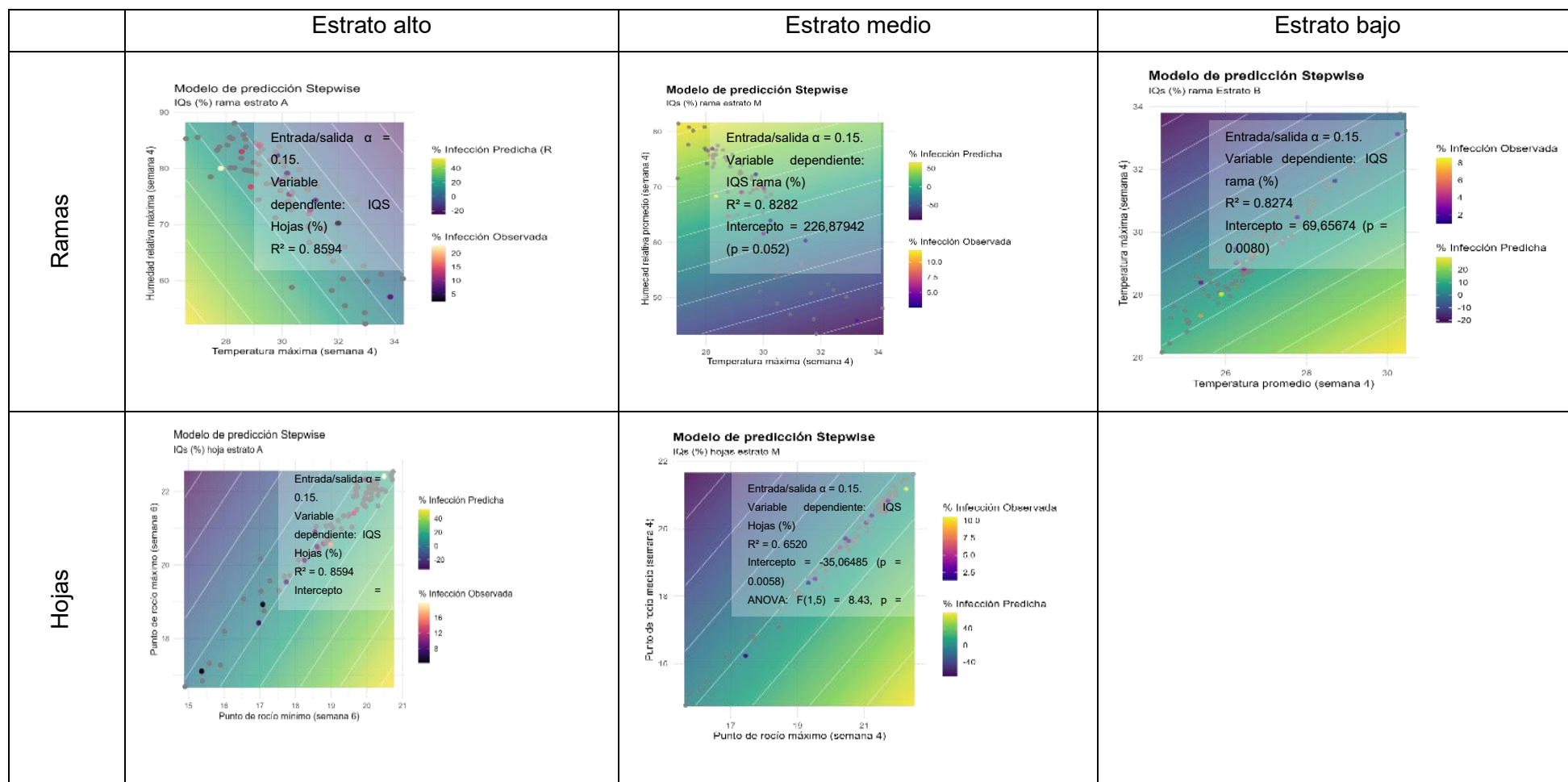


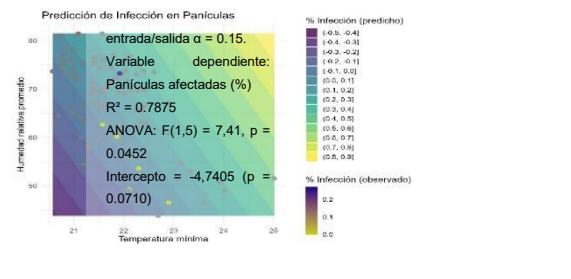
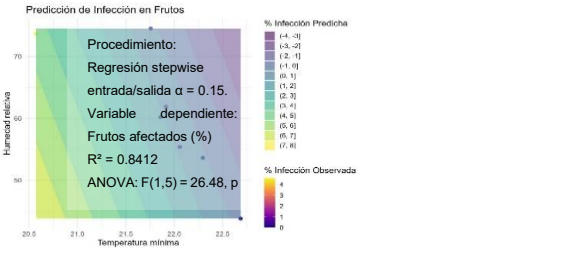
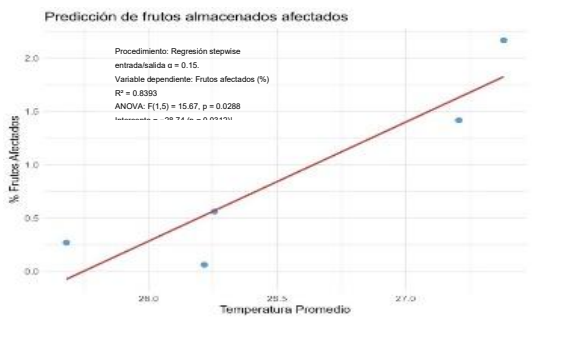
Figura 14. Dinámica del IQs en hojas y ramas de los tres estratos para el periodo 2019-2020.

La dinámica del porcentaje de IQs como lo expresa la figura 11 se ve expresada en términos progresivos en la reducción de los % de IQs encontrados desde la parte superior estrato alto y los estratos medio y bajo hacia la media e inferior. Siendo los tejidos de hojas y ramas con apariencia sana las que representan las fuentes de inóculo latente, las cuales en adelante se convierten en la enfermedad principalmente en flores y frutos.

Con respecto del factor ambiental para el desarrollo de la enfermedad, se identificó que estos son dinámicos en el tiempo en función tanto de la etapa del ciclo fenológico del árbol como de la magnitud de importancia que tiene cada factor climático (Temperatura, humedad relativa, precipitación y punto de rocío) en cada estrato de la copa del árbol con repercusiones tanto en la atenuación como en el desarrollo y avance de la Antracnosis.

Tabla 3. Modelo del microclima para detectar la presencia de IQs, y la enfermedad antes de presentar síntomas al estrato del árbol del mango Tommy Atkins



Panículas	Predicción de Infección en Panículas Variable dependiente: Panículas afectadas (%) Procedimiento: Regresión stepwise entrada/salida $\alpha = 0.15$. $R^2 = 0.7875$ ANOVA: $F(1,5) = 7.41$, $p = 0.0452$ Intercepto = -4.7405 ($p = 0.0710$) 		
Frutos en cuaje y amarre	Predicción de Infección en Frutos Variable dependiente: Frutos afectados (%) Procedimiento: Regresión stepwise entrada/salida $\alpha = 0.15$. $R^2 = 0.8412$ ANOVA: $F(1,5) = 26.48$, $p = 0.0008$ 		
Frutos en anaquele	Predicción de frutos almacenados afectados Variable dependiente: Frutos afectados (%) Procedimiento: Regresión stepwise entrada/salida $\alpha = 0.15$. $R^2 = 0.8393$ ANOVA: $F(1,5) = 15.67$, $p = 0.0288$ Intercepto = -0.0574 ($p = 0.9547$) 		

Modelos de predicción de la enfermedad

A partir de los modelos de regresión se identificó que, en el estrato alto, se presenta la mayor proporción de IQs en ramas y hojas que repercute en el desarrollo de la enfermedad durante la floración, cuaje y amarre de frutos y en frutos en punto de madurez fisiológica. Se estimó un modelo de regresión lineal respecto a un modelo de predicción para antracnosis (Figura 13) con un rezago de 4 semanas, indicando que las variables relacionadas con porcentaje de humedad relativa máxima y temperatura mínima presentaron el mejor ajuste ($R^2 = 0,84$) frente a la enfermedad observada en frutos en anaquel. Si bien se ha hecho énfasis en que un adecuado manejo implica la reducción del IQs a partir de prácticas como podas que disminuyan área contaminada, el manejo será más efectivo si se hace durante la etapa de preparación del árbol haciendo énfasis en el estrato alto, ya que al momento de cuaje y maduración de frutos no es económicamente viable realizar acciones de control dado que el IQs ya está presente con antelación.

Adicionalmente, mediante el modelo de regresión rezagada a cuatro semanas, se observó para el conjunto de datos sobre frutos cosechados en punto de madurez fisiológica que son almacenados y que desarrollan la enfermedad, la relevancia de la variable de temperatura promedio como el parámetro de mayor ajuste de los datos con la variable porcentaje (%) de frutos afectados ($R^2 = 0.8393$) como se observa en la figura 6. El modelo indica que temperaturas superiores a 25°C en anaquel, incentiva el desarrollo de la enfermedad cuando el inóculo del estrato alto de la copa no fue gestionado durante la etapa de desarrollo vegetativo del árbol.

En la misma tendencia, la ausencia de prácticas de manejo como las podas en el estrato alto tiene un efecto sobre el desarrollo de la enfermedad durante la etapa de floración afectando las panículas. Para el modelo de regresión a cuatro semanas, los datos indicaron que el desarrollo de la enfermedad en panículas tiene una correlación alta con el porcentaje de humedad relativa (%HR) y la temperatura mínima promedio con un $R^2 = 0.7875$ del estrato alto del árbol.

En el caso del estrato medio solo se tuvo regresiones con valores de ajuste $R^2 > 0,5$ tanto para ramas como para hojas, y valores $R^2 < 0,5$ para panículas y frutos en cosecha y anaquel. Respecto la presencia de IQs en ramas se tuvo un $R^2 = 0,6520$ con una pendiente positiva para los parámetros de temperatura máxima y humedad relativa máxima cuatro semanas antes indicando que estos parámetros favorecen la presencia de IQs.

Para el caso de la presencia de IQs en hojas el modelo presenta un R^2 de 0,8282, lo que refleja un ajuste, aunque el intercepto (226,87) muestra una significancia marginal ($p = 0,052$), el análisis de varianza confirma la validez general del modelo ($F(1,15) = 5,78$; $p = 0,0271$), indicando que la pendiente es estadísticamente significativa y negativa, es decir, cuando aumentan los valores de humedad relativa promedio y disminuye la temperatura mínima aumenta la enfermedad, pero cuando la temperatura máxima es mayor a 30 °C y la humedad relativa es mínima por debajo del 50 % el inóculo quiescente tiende a aumentar principalmente en el estrato alto.

Finalmente, en el estrato bajo tuvo significancia de las IQs en ramas con un valor- $p = 0,0020$ cuando se analizaron los datos respecto a los parámetros de temperatura promedio y temperatura máxima cuatro semanas antes, el modelo presentó un ajuste de $R^2 = 0,8274$ validando la importancia de la temperatura para la predicción del desarrollo y porcentaje de IQs con una significancia del ajuste, indicando una pendiente positiva (Intercepto = 69,65674).

La integración de podas sanitarias y programas nutricionales y control sanitario en las etapas críticas de producción, (etapa de reposo, etapa de floración, etapa de cuaje y amarre de frutos, etapa de maduración de frutos y etapa de poscosecha), frente a condiciones de clima que constituye la base del manejo preventivo integrado para el control de la enfermedad. Estas prácticas mejoran la arquitectura del dosel del árbol, reducen la humedad relativa interna de la copa del árbol de mango y optimizan las condiciones nutricionales que favorecen la resistencia natural del hospedante Hio *et al.*, (2024).

Esquema de manejo preventivo de IQs y enfermedad

El esquema de manejo preventivo integrado de la antracnosis se elaboró después de los resultados del objetivo 1 y 2, la información científica, la literatura consultada y aportes del autor bajo su experiencia se describió el enfoque del esquema de manejo, en relación con el ciclo de la enfermedad, las IQs, y los factores de riesgo principalmente el clima y las etapas fenológicas de los árboles de mango, como resultado final se agrega a este documento la forma esquemática de la propuesta de esquema preventivo de manejo integrado de la antracnosis en mango Tommy Atkins en el municipio de Tocaima Cundinamarca.

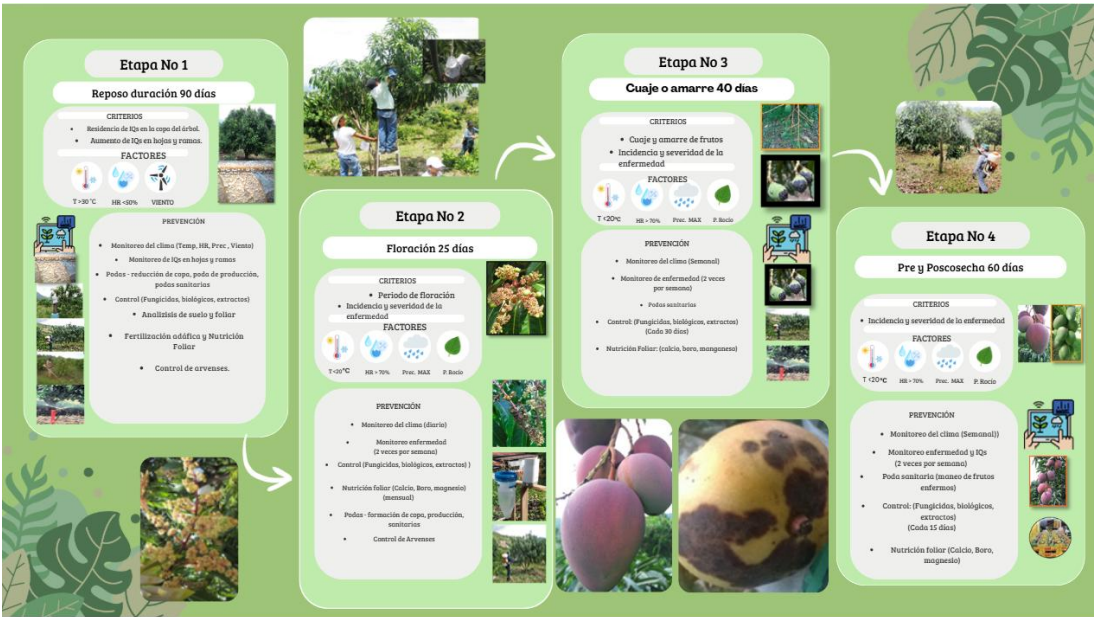


Figura 15. Plegable sobre propuesta de esquema de manejo preventivo integrado de la antracnosis en mango Tommy Atkins en el municipio de Tocaima- Cundinamarca

Conclusiones

Se encontró en este estudio, que las infecciones quiescentes IQs permanece en mayor cantidad en hojas y ramas sin presentar síntomas en el estrato alto de los árboles de mango y disminuye su presencia en los estratos medio y bajo. Se identificó que factores de riesgo como la temperatura máxima y la baja humedad relativa en el estrato alto aumentan la presencia de IQs en hojas y ramas, mientras que la máxima precipitación y la alta humedad relativa aumentan la incidencia y severidad de la enfermedad en los órganos reproductivos de los árboles de mango.

Los modelos estadísticos rezagados aplicados a los datos durante los dos años de evaluación mostraron que, condiciones de clima como la máxima temperatura y la mínima humedad relativa le favorecen para la presencia en hojas y ramas de IQs seis semanas antes de que los árboles de mango inicien la floración, mientras que la enfermedad puede estar presente 4 semanas de presentar síntomas en flores y frutos si las condiciones de precipitación y máxima humedad relativa le favorece.

Las prácticas de manejo agronómicas preventivas aplicadas al tratamiento Agrosavia disminuyeron significativamente el porcentaje de infecciones quiescentes IQs en hojas y ramas, durante los dos años de seguimiento, comparado con el tratamiento manejo productor.

Al controlar el inóculo inicial IQs con prácticas preventivas de manejo, se disminuyó significativamente la incidencia y severidad de la enfermedad en los órganos productivos de los árboles de mango Tommy Atkins en la parcela experimental, flores, frutos en cuaje, amarre, frutos en proceso de maduración, cosecha, almacenamiento y anaquel hasta en aproximadamente un 20%.

Se elaboró una propuesta (plegable) de esquema de manejo preventivo, donde se involucraron las etapas más críticas de ataque de la enfermedad y los factores de riesgo climáticos, así como las prácticas aplicadas para el manejo y control de la enfermedad, esta propuesta se elaboró después de los resultados de los objetivos 1 y 2, revisión de literatura, y aplicación de la experiencia adquirida durante los procesos de investigación en mango.

Recomendaciones

El esquema de manejo preventivo integrado propuesto debe validarse en otros sitios de producción, en otros agroecosistemas productivos de mango, cada sitio tiene una condición diferente por eso bajo condiciones de cada sitio de cultivo pueden ajustarse la metodología de control del complejo *C. gloeosporioides*.

El clima debe ser monitoreado durante y después de las etapas productivas, en cada sitio de cultivo, de esta manera se pueden establecer programas de manejo preventivo de la enfermedad, es de gran importancia que los productores de mango tengan claro tipo de altura van a mantener las copas de sus árboles, es importante las copas de los árboles de mango estén bien aireadas y de porte bajo, esto facilitara la eficiencia en los controles de la enfermedad y la cosecha.

La aplicación de productos de control debe ser aplicados después de haber realizado las podas, hacer uso de productos de síntesis química fungicidas después de las podas y evitar el uso productos de síntesis química cuando los frutos estén próximos a cosechas, hacer uso de productos biocontroladores disponibles en el comercio. El uso de productos debe hacerse bajo las recomendaciones de un técnico, utilizar productos recomendados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para este cultivo.

Referencias

- Alonso, J., Alonso, O., Ángel, D., Ortiz, D., Mejía, E., & Sánchez, F. (2004). Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la postcosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22, 395-402.
- Alvarez, L. V., Hattori, Y., Deocarís, C. C., & Sajise, A. G. C. (2020). *Colletotrichum asianum* causes anthracnose in Philippine mango cv. Carabao. *Australasian Plant Disease Notes*, 15(1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/S13314-020-00384-X>.
- Arauz, L. (2000). Mango anthracnose: economic impact and current options for integrated management. *Plant Disease*, 84, 600-611.
- Arboleda-Zapata, T., Díaz-Medina, A., & Ríos-Orsorio, L. (2019). Estrategias de control biológico utilizadas para el manejo de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango: una revisión sistemática. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(3), 1-18. <https://doi.org/10.56369/tsaes.2699>.
- Arcila Cardona, A. M., Castillo Urquiza, G. P., Pérez Artiles, L., Abaunza González, C. A., Yacomelo Hernández, M. J., & León Pacheco, R. I. (2022). Modelo productivo de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.) para el departamento del Magdalena. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405170>.
- Arizpe, A., Cepeda, M., Vázquez, J., Velázquez, R., Badillo, M., & Bautista, A. (2021). Natural resistance of two mango *Mangifera indica* L. commercial cultivars to anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Penz. & Sacc. *Australian Journal of Crop Science*, 15(8), 1147-1153. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.08.p3347>.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Valdez-Hernández, E. F., Allende-Molar, R., & Noriega-Cantú, D. H. (2023). Extractos botánicos en el control de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. causante de antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.).

- Investigaciones y Estudios de la UNA*, 14(2), 326-340.
<https://doi.org/10.57201/ieuna2323326>.
- Batista, D. C., Machado Júnior, M. M., Peruch, L. A. M., & Barbosa, M. A. G. (2023). Effects of agricultural practices and fungicides on the management postharvest anthracnose and stem-end rot of mango. *Australian Journal of Crop Science*, 17(9), 1027-1034.
<https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.09.p3910>.
- Bolaños, M., Noriega-Cantú, D. H., Garrido-Ramírez, E. R., Cano-García, M. A., Pereyda-Hernández, J., & González-Mateos, R. (2022). Manejo integrado de la antracnosis del mango. *Revista Internacional de Horticultura*, 6(4), 196–201.
<https://doi.org/10.15406/hij.2022.06.00265>.
- Cantú, D. H. N., Bolaños, M. M., Ramírez, E. R. G., Martínez, V. P., & Ariza, R. (2024). antracnosis del mango: tecnología de manejo integrado.
- Chiguachi, J. A., Fajardo, A. F., Esquivel, J. S., González, D. R., Prieto, Á. V., & Rincón, D. F. (2020). Manejo integrado del cultivo de mango *Mangifera indica* L. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 51-78.
<https://doi.org/10.36436/24223484.267>.
- Choudhary, H., Dhar, V., Dave, P. P., Kumari, S., Singh, B., Xaxa, S., Karkute, S. G., Bahadur, A., Singh, S., Singh, M., & Lal, M. K. (2024). Postharvest anthracnose disease in mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Sustainable alternatives for the control. *Crop Science*, 64(3), 1245-1268. <https://doi.org/10.1002/csc2.70064>.
- Corrêa, L. C., Rodrigues, A. A. M., Dias, L. R. L., Silva, E. S., Monteiro, O. S., & De Jesus Machado Gois De Oliveira, L. (2023). Antifungal potential of essential oils from *Pectis brevipedunculata* and *Dizygostemon riparius* in anthracnose control in mango. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, Artículo e889. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023889>.
- Dofuor, A. K., Quartey, N. K., Osabutey, A. F., Antwi-Agyakwa, A. K., Asante, K., Boateng, B. O., Ablormenti, F. K., Lutuf, H., Osei-Owusu, J., Osei, J. D., Ekloh, W., Loh, S. K., Honger, J.

- O., Aidoo, O. F., & Ninsin, K. D. (2023). Mango anthracnose disease: The current situation and direction for future research. *Frontiers in Microbiology*, 14, Artículo 1168203. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1168203>.
- FAO. (2020). Perspectivas a mediano plazo: perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028. Roma. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/frutas-tropicales/es/>.
- FAOSTAT (2022) Food and Agriculture Organization of the United Nations Trade. Recuperado de: <http://faostat.fao.org>. 12-02-2025.
- FAOSTAT (2023) Food and Agriculture Organization of the United Nations Trade. Recuperado de: <http://faostat.fao.org>. Consultado 7-8-2023.
- Fernández, K. F., Queiroga, T. S., Lima, M. C., Santos, G. R., Carnelossi, M. A. G., & Narain, N. (2024). Interventions based on alternative and sustainable strategies for postharvest control of anthracnose and maintain quality in tropical fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), Artículo e13427. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13427>.
- Galán, S. 1999. El cultivo del mango. Edición Mundi-prensa, Madrid. 298 p.
- Gómez-Ramírez, L. F., Sierra-Baquero, P. V., Salgado-Torres, G. A., & Rubiano-Rodríguez, J. A. (2022). Reporte de caso de necrosis apical en un cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) establecido bajo condiciones del Caribe seco colombiano. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 23(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2487.
- Grice, K. R. E.; Bally, I. S. E.; Wright, C. L.; Maddox, C.; Ali, A. y Dillon, N. L. (2023). Mango germplasm screening for the identification of sources of tolerance to anthracnose Australasian Plant Pathology, 52(1), 27-41. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13313-022-00899-0>
- Hio, J. C., Martínez Lemus, E. P., Rojas Zambrano, E. D., Argüelles Cárdenas, J. H., Rojas Ramírez, D. A., & Bustos Rodríguez, H. A. (2024). An integrated anthracnose

- management approach in Tommy Atkins mango cultivars in Cundinamarca - Colombia. *Universitas Scientiarum*, 29(3), 1-24. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc293.aiam>.
- Jaramillo-Colorado, Beatriz E.; Palacio-Herrera, Flor y Perez-Sierra, Ingrid. (2016). Residuos de pesticidas organofosforados en frutas obtenidas de plazas de mercado y supermercados en Cartagena, Colombia. *Rev Cie Téc Agr*, vol.25, n.4, pp. 39-46. ISSN 2071-0054. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14440.47363>.
- Jiménez-Maldonado, M I., Tovar-Pedraza, J M., León-Félix, J., Muy-Rangel, M D., & Islas-Osuna, M A. (2022, October 24). Respuesta fisiológica y calidad de mango cv Ataulfo infectado por *Colletotrichum* spp. National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP), 13(6), 1103-1115. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3028>.
- Lamare, N., Radhakrishnan, N. V., Thara, S. S., Singh, N. U., Pyngrope, S., & Chaturvedi, S. K. (2024). Screening of mango varieties against anthracnose diseases caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and its in vitro management through biocontrol agents and fungicides. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(11), 1691-1704. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i111691>.
- Li, Z., Bi, X., Dai, Y., Liu, L., Jin, L., Chen, Y., Zhang, Y., & Shen, C. (2024). Enhancing mango anthracnose control and quality maintenance through chitosan and iturin A coating. *LWT-Food Science and Technology*, 195, Artículo 115955. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115955>.
- Liang, Y. S., Ju, Y. F., Chao, S. H., Hsu, H. Y., Wu, A. B., Wu, W. S., Hung, Y. C., Chen, C. W., & Tzean, S. S. (2022). Postharvest application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB04 fermentation broth reduces anthracnose occurrence in mango fruit. *Agriculture*, 12(10), Artículo 1646. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101646>.
- Lima, N. B., Lima, W. G., Tovar-Pedraza, J. M., Michereff, S. J., & Câmara, M. P. S. (2015). Comparative epidemiology of *Colletotrichum* species from mango in northeastern Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 141(4), 679-688. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0570-y>.

- Martínez Bolaños, M., Noriega-Cantú, D. H., Garrido-Ramirez, E. R., Ayvar-Serna, S., & Allende-Molar, R. (2022). Mango anthracnose integrated management. *Horticulture International Journal*, 6(6), 265-272. <https://doi.org/10.15406/hij.2022.06.00265>.
- Martínez-Cnhinguachi, J. A., Fajardo A. G., Esquivel, J. S., Gonzalez, D. M., Prieto Anegela Ginet., y Rincon D. (2019). Manejo agronómico del cultivo de mango *Mangifera indica* L. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(1), 51-78. DOI: 10.36436/24223484.267.
- Martínez-Hernández, A., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., & Reza-Salgado, J. (2025). Indicadores de competitividad de las exportaciones de mango mexicano en el mercado mundial. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(2).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). Cadena del Mango. Indicadores e instrumentos. Primer trimestre 2022. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20>.
- Mohapatra S (2015) Residue levels and dissipation behaviors for trifloxystrobin and tebuconazole in mango fruit and soil. *Environ Monit Assess* 187:95.
- Monteon-Ojeda, A., Damián-Nava, A., Vargas-Madriz, H., Hernández-Romano, J., Colinas-León, M. T., & Tlapa-Rangel, A. M. (2020). Effect of systemic resistance inductors on PR's enzymatic activities and severity of mango anthracnose. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2), 1-12.
- Murray, R E., Candan, A. P., & Vázquez, D. E. (2019). Manual de poscosecha de frutas: manejo integrado de patógenos. Ediciones INTA.
- Niazi, M., Karuna, K., Somashekar, Y. M., Deepak, S. A., & Srinivas, C. (2022). Cultural and nutritional studies of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc., the incitant of mango anthracnose. *Journal of Mycopathological Research*, 60(4), 615-624. <https://doi.org/10.57023/jmycr.60.4.2022.615>.

- Noriega-Cantú D. H., Martínez-Bolaños M., Garrido-Ramírez E.R., Palacio-Martínez V. y Ariza-Flores R. (2024). Antracnosis del mango: tecnología de manejo integrado. AGRICULTURA-INIFAP–CIRPAS. Campo Experimental Iguala. Libro Técnico Núm. 6. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. 66 páginas.
- Normand, F; Lauri, PE; Legave, JM. (2015). Climate change and its probable effects on mango production and cultivation (en línea). In Acta Horticulturae 1075. Bruselas, Bélgica, ISHS.
- Oliveira, P. D. L., De Oliveira, K. Á. R., Vieira, W. A. S., Câmara, M. P. S., & De Souza, E. L. (2018). Control of anthracnose caused by *Colletotrichum* species in guava, mango and papaya using synergistic combinations of chitosan and *Cymbopogon citratus* (D.C. ex Nees) Stapf. essential oil. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.11.018>.
- OsmarQuijada, R., Herrero, B., González, R., Casanova, Á., & Camacho, R. (2009). Influencia de la poda y de la aplicación de nitrato y tiosulfato potásicos sobre el mango en Maracaibo, Venezuela. I. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 59(3), 275-287.
- Osorio JA, Torres MF, Hio JC, Lizarazo P, Castro AP, Romero JA, Arguelles J. (2005). Detection and analysis of the distribution of latent infections of *Colletotrichum acutatum* J. H. Simmons in tropical fruit trees, *Fitopatología Colombiana*, 29(2): 45–52.
- Osorio, J. A., Martínez, E. P., & Hío, J. C. (2012). Screening of microbial culture filtrates, plant extracts and fungicides for control of mango anthracnose. *Agronomía Colombiana*, 30(2), <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20877>.
- Osorio, J., González C. S., & Alvarado. J. (2016). Plan estratégico de ciencia, tecnología e innovación del sector agropecuario colombiano cadena de mango. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1399/109470_67507.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Osorio, J., Hio, J., Martinez, E., Torres, m., Kelemu, S. y Cadavid, M. (2008). Dinámica de las fuentes de inóculo y análisis de la estructura de las poblaciones de los agentes causales de antracnosis en especies de frutales promisorios. Informe técnico final. Corpoica.
- Osuna-Enciso, T., Pérez-Barraza, M. H., Martínez-Alvarado, C. O., Hernández-Verdugo, S., Osuna-Rodríguez, J. M., & Martín-Matheis, H. S. (2023). Retraso de floración y calidad del fruto de mango Kent en el sur de Sinaloa, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(4), 389-397.
- Páez, A. (2020). Biología y manejo de estados quiescentes de *Colletotrichum* spp. en mango cultivar Azúcar, en el departamento del Magdalena, Colombia [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/82503/5056184>. 2020. Pdf sequence=2&isAllowed=y.
- Páez, R. (2003). Tecnologías sostenibles para el manejo de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) en papaya (*Carica papaya* L.) y mango (*Mangifera indica* L.). pag.4-5, 7,9.
- Páez, R. A. (1997). Respuesta de cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) a la antracnosis en la Costa Atlántica colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2(1), 45-53. https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL2_NUM1_ART:162.
- Palomo Herrera, Ángel Alfonso, Cerna Rodriguez, Mildrek Roxana, Ojeda Izquierdo, Dayna Milene, & Apaza Tapia, Walter Eduardo. (2023). Prospección de problemas fitosanitarios a la cosecha y postcosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en el valle de Yaután, provincia de Casma - Ancash. *Ecología Aplicada*, 22(2), 129-139. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v22i2.2089>.
- Pardo-De la Hoz CJ, Calderón C, Rincón AM, Cárdenas M, Danies G, López-Kleine L, Restrepo S, Jiménez P. (2016). Species from the *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum boninense* and *Colletotrichum gloeosporioides* species complexes associated with tree

tomato and mango crops in Colombia, *Plant Pathology*, 65(2): 227–237, <https://doi.org/10.1111/ppa.12410>.

Prusky, D., Barad, S., Ment, D., & Bi, F. (2016b). The pH modulation by fungal secreted molecules: a mechanism affecting pathogenicity by postharvest pathogens. *Israel Journal of Plant Sciences*, 63(1), 22-30. doi: 10.1080/07929978.2016.1151290.

Ramírez-Benítez, J. E., Rodríguez-Ávila, N. L., Lizama-Uc, G., May, Á. M., Turrisa, H. G., Herrera-Flores, J. P., & Díaz, A. D. (2021). Evaluation of the potential control of natural compounds against anthracnose in mango (*Mangifera indica* L. cv. tommy atkins). *Horticulture International Journal*, 5(4), 136-139. <https://doi.org/10.15406/HIJ.2021.05.00202>.

Rattanakreetakul, C., Keawmanee, P., Bincader, S., Chaisiri, C., To-anun, C., & Hyde, K. D. (2023). Two newly identified *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in central Thailand. *Plants*, 12(5), Artículo 1130. <https://doi.org/10.3390/plants12051130>.

Rojas, R., Alvarez-Pérez, O. B., Contreras-Esquivel, J. C., Vicente, A., Flores, A., Sandoval, J., & Aguilar, C. N. (2020). Valorisation of mango peels: Extraction of pectin and antioxidant and antifungal polyphenols. *Waste and Biomass Valorization*, 11(1), 89-98.

Ruiz Campos, C. D. C. (2022). Caracterización molecular y patogénica de los hongos asociados a la antracnosis y la pudrición peduncular en la fruta de mango Tommy Atkins y Keitt (*Mangifera indica* L.) en diferentes zonas productoras de Costa Rica.

Schumann, GL y D'Arcy, CJ (2010) Fitopatología esencial. 2.^a edición, The American Phytopathological Society Press, St. Paul.

Sharma, A., Sharma, I. M., Sharma, M., Thakur, D. R., Sharma, K. D., & Bhardwaj, S. K. (2021). Effectiveness of fungal, bacterial and yeast antagonists for management of mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/S41938-021-00480-9>.

- Sierra, B.E.G., Guerrero, J.M., Sokolski, S., 2021. Phytoremediation of heavy metals in tropical soils an overview. *Sustainability* 13 (5), 2574. <https://doi.org/10.3390/su13052574>.
- Silué, Y., Cissé, M., N'guessan, Y., Koffi, E., & Camara, B. (2023). Use of medicinal plant extracts and chitosan as an alternative to chemicals to control mango postharvest anthracnose. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(2), 671-683. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.2.0671>.
- Singh, R. (2020). Modeling for anthracnose development in mango in relation to weather parameters. *Australasian Plant Pathology*, 49(4), 387-395. <https://doi.org/10.1007/S13313-020-00704-W>.
- Sioc. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cadena del mango. (2021). Indicadores e instrumentos Primer trimestre 2021, consultado abril de 2024 <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2020>.
- Suharto, A., Jirakkakul, J., Eusebio-Cope, A., Suzuki, N., & Chiba, S. (2022). Hypovirulence of *Colletotrichum gloeosporioides* associated with dsRNA mycovirus isolated from a mango orchard in Thailand. *Viruses*, 14(9), Artículo 1921. <https://doi.org/10.3390/v14091921>.
- Tovar-Pedraza, J. M., Mora-Aguilera, J. A., Nava-Díaz, C., Lima, N. B., Michereff, S. J., Sandoval-Islas, J. S., ... & Leyva-Mir, S. G. (2020). Distribution and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in Mexico. *Plant disease*, 104(1), 137-146.
- Yu, R. Liu, Q.; Liu, J.; Wang, Q.; Wang, Y. (2016). "Concentrations of organophosphorus pesticides in fresh vegetables and related human health risk assessment in Changchun, Northeast China", *Food Control*, 60: 353-360, ISSN:0956-7135, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.013>
- Zhafarina, S., Wibowo, A. y Widiastuti, A. (2021). Análisis multigenético de *Colletotrichum* spp. asociado con la enfermedad poscosecha de la antracnosis de frutos en una región especial de Yogyakarta, Indonesia. *Pak. J. Biol. Sci. PJBS* 24, 53–65. doi: 10.3923/pjbs.2021.53.65

5. Discusión general

El manejo integrado de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en mango, mediante la implementación de prácticas preventivas culturales, nutrición y control fitosanitario racional con el uso de químicos y biológicos, considerando las etapas fenológicas del cultivo, así como la importancia del microclima en los estratos del árbol, reduce significativamente la incidencia de la enfermedad, así como las infecciones quiescentes en hojas y ramas, aumentando el rendimiento del cultivo de mango. Este enfoque preventivo y sistémico, adaptado a la fenología del cultivo, ofrece una alternativa sostenible y más efectiva que el uso exclusivo de agroquímicos, validando la estabilidad productiva y sostenibilidad a largo plazo.

La **innovación metodológica** de este estudio se centró en, pasar de un control "reactivo" o "curativo" a una estrategia de control preventivo acorde a programación de labores de manejo con base en el conocimiento de la fenología de la planta en sus diferentes etapas productivas. Con base en estos resultados, se obtienen elementos diferenciadores en el manejo del cultivo con respecto a las prácticas tradicionales, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- **Sincronización fenológica crítica:** A diferencia del manejo tradicional, que aplica productos tras ver síntomas, este método programa las intervenciones (podas, nutrición control biológicos y mínimo uso de productos de síntesis química) basándose en las etapas más vulnerables del árbol (floración y cuaje o amarre de frutos), promoviendo el control del patógeno antes de que colonice los tejidos y se convierta de fuente de inóculo que ocasione posteriormente una alta incidencia y severidad de la enfermedad.
- **Modificación del microclima interno de los árboles de mango:** Se utilizó la poda sanitaria no solo para reducir el inóculo y la enfermedad, sino como una herramienta de ingeniería ambiental para reducir la humedad relativa dentro del dosel de los árboles, minimizando condiciones predisponentes a la enfermedad, con modificación del hábitat o nicho de desarrollo del patógeno.
- **Integración de la nutrición como defensa de los árboles:** Metodológicamente, la fertilización edáfica y foliar es un complemento dentro del manejo integrado con la finalidad de evitar y prevenir problemas sanitarios en los árboles, permitiendo así mayor

defensa sanitaria, optimizando procesos de desarrollo y defensa del árbol para que los controles químicos y biológicos sean más efectivos en el tiempo.

- **Estrategia de rotación de productos químicos con biológicos y un monitoreo permanente en las etapas más críticas:** Con este enfoque se introduce un rigor técnico en el uso racional de fungicidas, basándose en la sensibilidad específica del patógeno (concentración efectiva media), aplicación en los momentos críticos que permiten una disminución de ciclos de aplicación, lo que previene la resistencia del patógeno a moléculas de síntesis destinadas a su control, reducción de riesgos de estos principios activos sobre el medio ambiente y salud humana, y, finalmente, mantiene la eficiencia productiva y económica del sistema productivo.

El **aporte conceptual** de esta investigación radica en el cambio de paradigma sobre cómo entendemos la sanidad del cultivo, pasando del enfoque de "erradicación del patógeno" a una filosofía de **"gestión del ecosistema productivo"**.

Conceptos innovadores que introduce o refuerza esta investigación:

- **Multidimensionalidad del control:** Desplaza el concepto de "tratamiento" (acción única) por el de "manejo integrado" (sistema complejo). Establece que la sanidad no es un evento químico, sino el resultado del equilibrio entre el desarrollo y vigor del hospedante, la arquitectura de la planta, condiciones ambientales y la presión del inóculo.
- **Continuidad campo-poscosecha:** Redefine la calidad de los frutos al final de la cosecha, considerándose como un proceso de infección que comienza en las hojas y ramas. El concepto innovador se ve reflejado en la sanidad, calidad y duración de la fruta almacenada y anaquel y un gran éxito en poscosecha, reflejado en la reducción de las **infecciones quiescentes** desde campo, integrando las etapas y factores precosecha y poscosecha, en una sola visión epidemiológica.
- **Resiliencia sistémica:** Introduce la idea de que la estabilidad productiva (mantener altos rendimientos durante varios años) es posible mediante un manejo sistémico e integrado de control de poda, nutrición eficiente y control biológico, articulado con el modelamiento del microclima en estratos diferenciados de la planta, lo que reduce la dependencia de insumos externos y alinea el cultivo con la sostenibilidad agrícola moderna.

- **Precisión epidemiológica:** Valora el uso de modelos climáticos y ventanas de riesgo como conceptos fundamentales para la prevención y toma de decisiones, dejando atrás las aplicaciones por calendario fijo, que suelen ser ineficientes y de gran impacto ambiental.

6. Conclusiones

- **Efectividad del manejo preventivo e integrado del cultivo:** La combinación de podas, nutrición y aplicación de control de la antracnosis e infecciones quiescentes, reduce significativamente el inóculo quiescente IQs en hojas y ramas de los árboles de mango, lo cual resulta primordial para reducir el efecto directo y acumulativo en la sanidad de flores (panículas) y frutos en cuaje y amarre, mejorando así significativamente la productividad y calidad de la fruta tanto en la cosecha como en anaquel.
- **Estratificación del inóculo quiescente:** se determinó que las IQs no se distribuyen homogéneamente en los tres estratos del árbol de mango; reside principalmente en el tercio superior o estrato alto de la (copa). El microclima varía según el estrato del árbol considerado (alto, medio, bajo), lo que influye en la abundancia del patógeno y de la enfermedad.
- **Influencia crítica del clima:** Las condiciones ambientales evaluadas en la zona de estudio, ubicada municipio de Tocaima (Cundinamarca, Colombia) indican que la dinámica del patógeno *Colletotrichum Gloeosporiodes*. IQs y la enfermedad están asociadas a las variaciones del clima. Se determinó que temperaturas ($>30^{\circ}\text{C}$) favorecen la presencia de inóculo quiescente en el estrato alto de la copa de los árboles de mango, mientras que las lluvias intensas y la humedad alta ($>80\%$) son los factores moduladores que dispersan la enfermedad y aumentan su severidad en los órganos reproductivos principalmente en flores y frutos en formación, maduración y cosecha.

7. Recomendaciones

- Validar el modelo de manejo integrado propuesto (podas, nutrición y control del patógeno) en otros ambientes y condiciones de sistemas productivos de mango, con la finalidad de evaluar los beneficios en términos productivos, sanitarios y de calidad de fruta.

- Incorporar tecnologías de monitoreo de variables climáticas como criterio de monitoreo para condiciones favorables o predisponentes de la enfermedad e incorporar decisiones informadas sobre el manejo del cultivo para minimizar efectos perjudiciales de antracnosis en el cultivo.
- Tener en cuenta la necesidad de estudios temporales de largo aliento para poder tener elementos de certidumbre frente a la variabilidad climática y sus efectos sobre las dinámicas de presencia del patógeno y respuesta del cultivo frente a limitantes sanitarios como la antracnosis del mango.

8. Referencias

- Arauz, L. (2000). Mango anthracnose: economic impact and current options for integrated management. *Plant Disease*, 84, (6):600-611. Doi.10.1094/PDIS.2000.84.6.600.
- Arcila Cardona, A. M., Castillo Urquiza, G. P., Pérez Artilles, L., Abaunza González, C. A., Yacomelo Hernández, M. J., & León Pacheco, R. I. (2022). Modelo productivo de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.) para el departamento del Magdalena. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405170>.
- Asohofrucol, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. Mango *Mangifera Indica* variedad Keitt. (2020). Principales aspectos para su cultivo en el municipio de Valledupar, Cesar, http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Libros/Cartilla._Mango,_aspectos para su cultivo_2020.pdf. Consultado abril de 2022.
- Archana, S., Raguchander, T., & Prabakar, K. (2018). Detección del gen de la β -tubulina en aislados sensibles al benomilo de *Colletotrichum gloeosporioides* causantes de la antracnosis en el mango. *African Journal of Microbiology Research*, 12(33), 806–814. doi.org
- Ayantu Tucho, Fikre Lemessa and Gezahegn Berecha, (2014). Distribution and Occurrence of Mango Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz and Sacc) in Humid Agroecology of Southwest Ethiopia. *Plant Pathology Journal*, 13:268–277. URL: <https://scialert.net/abstract/doi=ppj.2014.268.277>. DOI:10.3923/ppj.2014.268.277.
- Baquero, Paola & Varón Devia, Edgar Herney & Polanco, Leonora & Alferes, Edinson & Zambrano, Emerson & Martínez Lemus, Erika & Hio, Juan. (2023). Ofertas tecnológicas para el manejo de trips y antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.). 10.21930/agrosavia.nbook.7406375.
- Blanco L, Pulido L. (2015). Evaluación de dos estrategias de control cultural para el manejo de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en cultivo de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.), en la finca Villa Clemencia, vereda El Guamito del municipio de Los Santos, Santander. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Bolaños, M., Noriega-Cantú, D. H., Garrido-Ramírez, E. R., Cano-García, M. A., Pereyda-Hernández, J., & González-Mateos, R. (2022). Manejo integrado de la antracnosis del mango. *Revista Internacional de Horticultura*, 6(4), 196–201. <https://doi.org/10.15406/hij.2022.06.00265>.
- Cantú, D. H. N., Bolaños, M. M., Ramírez, E. R. G., Martínez, V. P., & Ariza, R. (2024). antracnosis del mango: tecnología de manejo integrado.
- Cajas Salazar, A. K. (2021). Identificación de *Colletotrichum* spp. como agente causante de la antracnosis en hojas de uvilla (*Physalis peruviana* L.) en el centro de la región interandina del Ecuador [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. uta.edu.ec

- Campos, B. y Calderón, E. (2016). El Análisis Foliar para el Diagnóstico Nutritivo de Plantaciones de Mango. Toma de muestras. Málaga. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 1-8 p. Formato digital (e-book) - (Producción Agraria).
- Martinez-Chiguachi, J. A., Fajardo A. G., Esquivel, J. S., Gonzalez, D. M., Prieto Anegela Ginet., y Rincon D. (2019). Manejo agronómico del cultivo de mango *Mangifera indica* L. Revista Ciencias Agropecuarias, 6(1), 51-78. <https://doi.org/10.36436/24223484.267>.
- De Silva, D., Groenewald, J., Crous, P., Ades, P., Nasruddin, A., Mongkolporn, O. y Taylor, P. (2019). Identification, prevalence and pathogenicity of *Colletotrichum* species causing anthracnose of *Capsicum annuum* in Asia. IMA Fungus, 10(8), 1- 32. <https://doi.org/10.1186/s43008-019-0001-y>.
- Falahzadah, M. H., Karimi, J., & Gaugler, R. (2020). Biological control chance and limitation within integrated pest management program in Afghanistan. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30 (1). <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00264-7>.
- Freeman, S., Shtienberg, D., Maymon, M., Levin, A. & Ploetz, R. (2014). New insights into mango malformation disease epidemiology lead to a new integrated management strategy for subtropical environments. *Plant Disease* 98,1456-1466.
- Galán Saúco, V. (2015). Ventajas y Desventajas del cultivo del Mango (*Mangifera indica* L.) en Zonas Subtropicales y Potencial del Cultivo bajo invernadero. *Acta Horticulturae* 1075: 167-178.
- Galán, S. 1999. El cultivo del mango. Edición Mundi-prensa, Madrid. 298 p.
- Gama, A. B., Baggio, J. S., Rebello, C. S., de Afonseca Lourenço, S., de G. Gasparoto, M. C., da Silva Junior, G. J., Pérez, N. A., & Amorim, L. (2020). Sensitivity of *Colletotrichum acutatum* isolates from citrus to carbendazim, difenoconazole, tebuconazole, and trifloxystrobin. *Plant Disease*, 104(6), 1621–1628. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-19-2195-RE>.
- Guadarrama, m. Ayvar-serna, s., Díaz Nájera, j., mena-Bahena, a., & ramos-reyes, a. Karen. (2021). Control Químico in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., agente causal de la antracnosis del mango. 8(1), 172–177.
- Hio, J., Martínez Lemus, E. P., Rojas Zambrano, E. D., Osorio Cardona, J. A., Cruz Castiblanco, G. N., & Bustos Rodríguez, H. A. (2024). An integrated anthracnose management approach in Tommy Atkins mango cultivars in Cundinamarca-Colombia. *UniversitasScientiarum*. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc293.aiam>.
- Hardoim, P., Van Overbeek, L., Berg, G., Pirttilä, A., Compant, S., Campisano, A., Döring, M. y Sessitsch, A. (2015). The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79(3), 293-320. <https://doi.org/10.1128/mubr.00050-14>.

- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2012). *Boletín Epidemiológico. Resultados de vigilancia fitosanitaria sobre moscas de las frutas en el departamento de Nariño. Primer Trimestre*. Dirección técnica de epidemiología y vigilancia fitosanitaria. Disponible: https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/epidemiologiaagricola/boletines/departamentos/2012/boletin_narino_2_2012.aspx.
- Jayawardena, R. S., Bhunjun, C. S., Hyde, K. D., Gentekaki, E., & Itthayakorn, P. (2021). *Colletotrichum*: Lifestyles, biology, morpho-species, species complexes and accepted species. *Mycosphere*, 12(1), 519–669. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/12/1/7>
- Jaramillo-Colorado, Beatriz E.; Palacio-Herrera, Flor y Perez-Sierra, Ingrid. (2016). Residuos de pesticidas organofosforados en frutas obtenidas de plazas de mercado y supermercados en Cartagena, Colombia. *Rev Cie Téc Agr*, vol.25, n.4, pp. 39-46. ISSN 2071-0054. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14440.47363>.
- Landero-Valenzuela, Nadia, Lara-Viveros, Francisco Marceo, Andrade-Hoyos, Petra, Aguilar-Pérez, Luis Alfonso, & Agudo Rodríguez, Graciano Javier. (2016). Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1189-1198, Recuperado en 11 noviembre de 2023, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007.
- Litz, R.E. (2009). *Mango, Botany, Production and Uses*. 2nd edition- CAB International. Wallingford. U.K.
- Liu, F., Cai, L., Crous, P.W., & Damm, U. (2014). The *Colletotrichum gigasporum* species complex. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi* 33, 83-97. <http://dx.doi.org/10.3767/003158514X684447>.
- Liyanage, H., Millan, M., Kistler, H. (1992). Two genetically distinct populations of *Colletotrichum gloeosporioides* from citrus. *En: Phytopathology*. 82 (11). 1371 - 1376.
- López-Moral, A., Agustí-Brisach, C., Lovera, M., Arquero, O., & Trapero, A. (2020). Almond anthracnose: Current knowledge and future perspectives. *Plants*, 9(8), Artículo 945. <https://doi.org/10.3390/plants9080945>
- Martínez-Hernández, A., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., & Reza-Salgado, J. (2025). Indicadores de competitividad de las exportaciones de mango mexicano en el mercado mundial. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(2).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). Cadena del Mango. Indicadores e instrumentos. Primer trimestre 2022. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20>.
- Miranda Lasprilla, D. (2020). *Mango (Mangifera indica L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá, D. C.: Corredor Tecnológico. Disponible en: <https://editorial.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion/bogota/Manuales/15-manual-mango-2020-EBOOK.pdf>.

- Miranda Lasprilla, D., Figueroa Ramírez, J., Clímaco Hio, J., Pérez Rodríguez, C., Parada ZesxAlfonso, F., Rodríguez Torres, R & Arias Barrera, E. (2024). Mango (*Mangifera indica* L.) :manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia.
- Miyinzi M. et al (2020). Health and environmental effects of adopting an integrated fruit fly management strategy among mango farmers in Kenya. African Journal of Agricultural and Resource Economics, 15(1), 14–26. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.307614>.
.
- Muñoz,M.C.,Barrera,Y.R.,Berrío,P.K.J.,&Cardona,A.M.(2025).Cosecha,poscosecha,transformación de mango y aprovechamiento de biomasa residual. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia.<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7408041>
- Nasir uddin, md., talukder, s. h., afroz, m., & jahan moon, n. (2019). A Review on Anthracnose of Mango Caused By Colletotrichum. Bangladesh J. Plant Pathol, 35(1 & 2) 65–74.
- Normand, F; Lauri, PE; Legave, JM. (2015). Climate change and its probable effects on mango production and cultivation (en línea). In Acta Horticulturae 1075. Bruselas, Bélgica, ISHS.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). **FAOSTAT: Trade**. fao.org. Recuperado el 12 de febrero de 2025.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). **FAOSTAT: Trade** [Conjunto de datos]. fao.org. Recuperado el 7 de agosto de 2023.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). Perspectivas a mediano plazo: Perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028. fao.org
- Ordaz Gallegos, Jordán, Rodríguez Mendoza, María de las Nieves, García Cuéllar, José Luis, & Pimentel Equihua, José Luis. (2020). Estrategias de manejo en huertas de mango y su efecto en la calidad del suelo y productividad en Los Cajones, Michoacán. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(5), 1057-1068. Consultado 03 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2127>.
- Osorio, J. A., Martínez, E. P., & Hío, J. C. (2012). Screening of microbial culture filtrates, plant extracts and fungicides for control of mango anthracnose. Agronomía Colombiana, 30(2), 240–247. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20877>.
- Osorio, J. A., Martínez, E. P., Hío, J. C., & Aguirre, J. E. (2010). Estudios de epidemiología y control no convencional de la antracnosis del mango. En Ciencia y tecnología para la competitividad del sector agropecuario 2002-2010: Resultado de proyectos cofinanciados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (pp. 31(123). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Osorio, J., Hío, J., Martínez, E., Torres, M., Kelemu, S., & Cadavid, M. (2008). Dinámica de las fuentes de inóculo y análisis de la estructura de las poblaciones de los agentes causales de antracnosis en especies de frutales promisorios: Informe técnico final. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).

- Osuna-Enciso, T., Pérez-Barraza, M. H., Martínez-Alvarado, C. O., Hernández-Verdugo, S., Osuna-Rodríguez, J. M., & Martín-Matheis, H. S. (2023). Retraso de floración y calidad del fruto de mango Kent en el sur de Sinaloa, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 389–397. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.389>.
- Páez, A. (2020). Biología y manejo de estados quiescentes de *Colletotrichum* spp. en mango cultivar Azúcar, en el departamento del Magdalena, Colombia [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/82503/5056184.2020.Pdf.sequence=2&isAllowed=y>.
- Páez Redín, R. A. (2003). Tecnologías sostenibles para el manejo de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.] en papaya (*Carica papaya* L.) y mango (*Mangifera indica* L.) (Boletín Técnico No. 8). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). agrosavia.co.
- Páez-Redondo, A., Prusky, D., & Hoyos-Carvajal, L. (2022). La quiescencia como estado estratégico del proceso infectivo de especies de *Colletotrichum*. *Revista U.D.C.A Actualidad&Divulgación Científica*, 25(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2073>.
- Páez-Redondo, A.; Prusky, D.; Hoyos-Carvajal, L. (2022). Quiescence as a strategic stage for the infective process of *Colletotrichum* species. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 25(2): e2073. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2073>.
- Palomo Herrera, Ángel Alfonso, Cerna Rodriguez, Mildrek Roxana, Ojeda Izquierdo, Dayna Milene, & Apaza Tapia, Walter Eduardo. (2023). Prospección de problemas fitosanitarios a la cosecha y postcosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en el valle de Yaután, provincia de Casma - Ancash. *Ecología Aplicada*, 22(2), 129-139. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v22i2.2089>.
- Paudel, A., Poudel, P., & Yogi, M. (2022). Insights on the mango anthracnose and its management. *Journal of Plant Pathology Research*, 4(1), 81–90.
- Prusky, D., Alkan, N., Mengiste, T., & Fluhr, R. (2013). Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. *Annual Review of Phytopathology* 51, 155-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102349>.
- Ramírez J. M. M., Segovia, C. P., Díaz, R. D. V., & Aguilar, L. P. (2024). Fertilización orgánica de mango Haden en Lombardía Michoacán: Biofertilizantes en mango Haden. *Revista Bio Ciencias*, 11, Artículo e1605. doi.org. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1579>.
- Ríos, R., & Corella, F. (1999). *Manejo de la nutrición y fertilización del mango en Costa Rica* [Presentación de documento]. XI Congreso Nacional de Agronomía / III Congreso Nacional de Suelos, Costa Rica.
- Rojas, R., Alvarez-Pérez, O. B., Contreras-Esquivel, J. C., Vicente, A., Flores, A., Sandoval, J., & Aguilar, C. N. (2020). Valorization of mango peels: Extraction of pectin and antioxidant

and antifungal polyphenols. *Waste and Biomass Valorization*, 11(1),89-98.
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0433-4>.

- Ruiz Campos, C. D. C. (2022). Caracterización molecular y patogénica de los hongos asociados a la antracnosis y la pudrición peduncular en la fruta de mango Tommy Atkins y Keitt (*Mangifera indica* L.) en diferentes zonas productoras de Costa Rica [Tesis de Licenciatura o Maestría, nombre de la Universidad]. Repositorio Institucional.
- Salehin, S., Mohsin, G., ferdous, T., Zaman, J., Uddin, M. and Rahman, M. (2020). Soil Fertility and Leaf Nutrient Status of Mango Orchard Sites. *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, 29(2):155–163. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i2.48735>.
- Scariot, F. J. (2021). Identificação de espécies de *Colletotrichum* associadas com videiras e atividades antifúngica de monoterpenos sobre *Colletotrichum* spp. e *Saccharomyces cerevisiae* [Tesis de Doctorado, Universidade de Caxias do Sul]. Repositorio Institucional UCS. ucs.br.
- Salotti, I., Ji, T., and Rossi, V. (2022). Temperature requirements of *Colletotrichum* spp. belonging to different clades. *Front. Plant Sci.* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953760>.
- Sánchez Rodríguez, F. M. F. (2023). *Plan de exportación del mango Tommy del Departamento de Cundinamarca hacia Estados Unidos* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB).
- Sioc. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cadena del mango. (2021). Indicadores e instrumentos Primer trimestre 2021, consultado abril de 2024 <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2020>.
- Tovar-Pedraza, J. M., Mora-Aguilera, J. A., Nava-Díaz, C., Lima, N. B., Michereff, S. J., Sandoval-Islas, J. S., ... & Leyva-Mir, S. G. (2020). Distribution and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in Mexico. *Plant disease*, 104(1), 137-146.
- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Wu, Y., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2022). Subcellular damages of *Colletotrichum asianum* and inhibition of mango anthracnose by dielectric barrier discharge plasma. *Food Chemistry*, 381, Artículo 132197. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022>.
- Vera Bazán, B. M. (2024). Factores que inciden en la producción del cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) en el Ecuador [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional UTB. utb.edu.ec
- Yacomelo-Hernández, M. J., Ramírez-Gómez, M. M., Pérez-Moncada, U. A., Arcila Cardona, Á., Carrascal Pérez, F. F., & Flórez Cordero, E. (2021). Análisis nutricional y niveles de extracción del mango cv. Azúcar en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 33(2), 79-90. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.2>

- Yu, R.; Liu, Q.; Liu, J.; Wang, Q.; Wang, Y.: "Concentrations of organophosphorus pesticides in fresh vegetables and related human health risk assessment in Changchun, Northeast China", *Food Control*, 60: 353-360, febrero de (2016), ISSN: 0956-7135, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.013>.
- Zamudio, G. M. (2023). Factores edafoclimáticos y productividad de tres variedades de mango (*Mangifera indica* L.) en Veracruz, México. *Acta Agronómica*, 72(2), 146-155. <https://doi.org/10.15446/acag.v72n2.111668>.
- Zhafarina, S., Wibowo, A. y Widiastuti, A. (2021). Análisis multigenético de *Colletotrichum* spp. asociado con la enfermedad poscosecha de la antracnosis de frutos en una región especial de Yogyakarta, Indonesia. *Pak. J. Biol. Sci. PJBS* 24, 53–65. [https://doi: 10.3923/pjbs.2021.53](https://doi.org/10.3923/pjbs.2021.53).