Potencial del aceite extra virgen de aguacate (*Persea americana* Mill) para el control *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. & Sacc.

Henry Santiago Guevara Amaya ID: 734906

Yandy Kairel Briceño Ojeda ID: 724979

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Orinoquía-Amazonía

Centro Universitario Villavicencio

Programa Ingeniería Agroecológica

Marzo de 2026

Potencial del aceite extra virgen de aguacate (*Persea americana* Mill) para el control *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. & Sacc.

Henry Santiago Guevara Amaya
Yandy Kairel Briceño Ojeda

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero en Agroecología

Asesor (a)
Martha Lucia Velasco Belalcázar
Bióloga / MSc Fitopatología

Co Asesor (a)
Carlos Alberto Hernández Medina
Biólogo / MSc Fitopatología

Grupo de investigación GITSAI (Innovación agroindustrial, tecnológica y social)
Línea de investigación: Innovaciones Sociales y Productivas
Sub línea de investigación: Sistemas de conservación-producción en el trópico

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Orinoquía-Amazonía

Centro Universitario Villavicencio

Programa Ingeniería Agroecológica
Marzo de 2026

Dedicatoria

Primeramente, a Dios, por guiarnos cada paso de este camino académico y personal, por ser fuente de sabiduría y brindarnos la fortaleza necesaria para afrontar todas las dificultades que se presentaron.

A nuestras familias, por su amor, comprensión, sacrificios, paciencia y apoyo incondicional. Su motivación constante fue lo que nos mantuvo firmes y perseverantes frente a los obstáculos y el cansancio a lo largo de este proceso.

A nuestros docentes, por su compromiso y dedicación. Gracias por compartir sus conocimientos, los cuales enriquecieron este proceso tanto académico como personal, impulsándonos a explorar nuevos horizontes y desarrollar habilidades valiosas para nuestra vida futura.

Henry Guevara, Yandy Briceño

Agradecimientos

A Dios, por guiar cada uno de nuestros pasos, brindarnos fortaleza y permitirnos avanzar en este camino lleno de desafíos y enseñanzas. Gracias por acompañarnos siempre, incluso en los momentos más difíciles, y por concedernos la sabiduría necesaria para alcanzar este objetivo.

A nuestros docentes, en especial agradecemos enormemente a nuestra asesora y co-asesor de proyecto, Martha Lucia Velasco Belalcázar y Carlos Alberto Hernández Medina, la profesora Sandra Milena Vargas, al profesor Nelvar Choque, la profesora Adriana Lombo, la profesora Andrea del Pilar, la profesora Viviana Pulido, la profesora Johana Cruz, el profesor Fabian Rojas, el profesor Jimmy Reyes y a la auxiliar de laboratorio Melida Buitraga, por su entrega, orientación y apoyo constante. Su compromiso, paciencia y motivación fueron fundamentales para mantenernos firmes y lograr culminar esta etapa académica.

A todas las personas que, de alguna manera, hicieron parte de este proceso. Algunas nos ofrecieron su cariño y acompañamiento, y otras nos dejaron valiosas enseñanzas. Cada experiencia, tanto positiva como difícil, nos ayudó a crecer, fortalecernos y confiar más en nuestras capacidades.

A todos, gracias por ser parte de este logro que hoy celebramos con profunda gratitud y alegría.

Contenido

Dedicatoria 3
Agradecimientos 4
Contenido 5
Lista de tabla 7
Lista de figura 8
Lista de anexos 9
Resumen 10
Abstract 11
Introducción 12
CAPÍTULO I 14
1. 151.1
151.1.1
15CAPÍTULO II 14
2. 162.1 Pregunta problema 16
CAPÍTULO III 16
3. 18CAPÍTULO IV 18
4. 204.1
204.2
214.2.1
224.2.2
234.2.3
234.2.4
254.2.5
264.3
264.3.1
264.3.2
284.3.3
284.3.4

294.3.5
30CAPÍTULO V 30
5 315.1 315.2
315.3 315.3.1
315.4 335.4.1
335.4.1.1 335.4.1.1.1
33en diferentes concentraciones. 32
5.4.2 385.4.2.1 385.4.2.2
39*gloeosporioides* en relación con el control positivo. 38
CAPÍTULO VI 39
6. Resultados y discusión 39
6.1 406.2
44CAPÍTULO VII 47
7. Conclusión 47
CAPÍTULO VIII 48
8. Referencias 48
Anexos 58

Lista de tabla

Tabla 1. *Clasificación taxonómica del Colletotrichum gloeosporioides* 21

Tabla 2. *Clasificación Taxonómica Persea americana Mill* 29

Tabla 3. *Tratamientos para el análisis de la actividad inhibitoria del aceite extra virgen* 36

Tabla 4. Resumen del porcentaje de inhibición, tasa de crecimiento, crecimiento micelial total de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento y clasificación de la actividad antifúngica de acuerdo con Arancibia-Avila et al, (2012) 41

Tabla 5. *Resultado de la prueba Post hoc de Mann Whitney para comparar los tratamientos realizados. Se indican los P-valor de la comparación entre cada tratamiento.* 43

Lista de figura

Figura 1. *Cepa de Colletotrichum gloeosporioides utilizada en el estudio. (A) Crecimiento del hongo observado en el anverso de la caja Petri y la colonia. (B) Crecimiento del hongo observado en el reverso de la caja Petri y la colonia. (C) Observación microscópica.* 31

Figura 2. *Porciones del hongo Colletotrichum gloeosporioides empleadas como inóculo en las evaluaciones de crecimiento e inhibición en medio PDA con cada uno de los tratamientos. La imagen muestra el proceso de elaboración del medio del cultivo y la inoculación del hongo.* 33

Figura 3. *(A) Y (B); Elaboración del medio PDA con los distintos tratamientos previamente diluidos y homogeneizados. (C) Y (D); Fungicida FORDAZIM y aceite extra virgen utilizado en la investigación.* 34

Figura 4. *Procedimiento de esterilización del aceite extra virgen y el fungicida mediante filtración.* 35

Figura 5. *Crecimiento micelial promedio por tratamiento durante los 12 días del experimento.* 39

Figura 6. *Crecimiento micelial de Colletotrichum gloeosporioides a los 12 días en los diferentes tratamientos: (A) 200 mg/L; (B) 300 mg/L; (C) 400 mg/L; (D) 500 mg/L de aceite extra virgen de aguacate; (E) control con fungicida (300 mg/L); (F) control con PDA.* 40

Figura 7. *Resultado del porcentaje de inhibición del Crecimiento radial (%PICR) de cada tratamiento evaluado.* 42

Lista de anexos

Anexo 1. *Datos totales del Crecimiento micelial total de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento.* 58

Anexo 2.*% de inhibición del crecimiento micelial de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento.* 58

Anexo 3.*Tasa de crecimiento Micelial de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento.* 59

Anexo 4. *Resumen de pruebas de normalidad de los datos obtenidos de porcentaje de inhibición en cada uno de los tratamientos.* 59

Resumen

El presente trabajo analiza la capacidad del aceite extra virgen de aguacate (*Persea americana* Mill). como un antifúngico para el control en laboratorio del hongo patógeno *Colletotrichum gloeosporioides*, responsable de la antracnosis, que es una de las enfermedades más restrictivas en cultivos tropicales como el cacao, entre otros. Por ello, se tuvo como objetivo evaluar el efecto del aceite en la inhibición del crecimiento del hongo, así como determinar cuál es la concentración más eficaz. El estudio se llevó a cabo mediante un bioensayo en condiciones *in vitro*, utilizando el método de medio suplementado para probar varias concentraciones de aceite extra virgen de aguacate (200, 300, 400 y 500 mg/L), comparadas con un control negativo (fungicida comercial) y un control positivo (medio de PDA). Las concentraciones evaluadas de 200, 300 y 500 mg/L tuvieron un efecto inverso al anticipado, favoreciendo el crecimiento del hongo en comparación con el grupo de control

negativo. Este resultado sugiere la existencia de un fenómeno de hormesis, donde dosis que no son mortales del tratamiento incentivan el crecimiento en lugar de frenarlo. Aunque la concentración de 400 mg/L fue la única que mostró un efecto moderadamente inhibitorio, no alcanzó el desempeño del tratamiento control con el fungicida, lo que sugiere que el aceite extra virgen de aguacate no es una buena opción en el manejo de la antracnosis, probablemente por el método de obtención del aceite utilizado en el estudio.

Palabras clave: Antracnosis, aceite extra virgen, aguacate, antifúngico

Abstract

This study analyzes the capacity of extra virgin avocado oil (*Persea americana* Mill.) as an antifungal agent for the laboratory control of the pathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides*, responsible for anthracnose, one of the most restrictive diseases in tropical crops such as cacao, among others. Therefore, the objective was to evaluate the effect of the oil on inhibiting fungal growth, as well as to determine the most effective concentration. The study was carried out using an in vitro bioassay, employing the supplemented medium method to test various concentrations of extra virgin avocado oil (200, 300, 400, and 500 mg/L), compared to a negative control (commercial fungicide) and a positive control (PDA medium). The evaluated concentrations of 200, 300, and 500 mg/L had the opposite effect to that anticipated, favoring fungal growth compared to the negative control group. This result suggests the existence of a hormesis phenomenon, where non-lethal doses of the treatment encourage growth rather than inhibit it. Although the 400 mg/L concentration was the only one that showed a moderately inhibitory effect, it did not achieve the performance of the

control treatment with the fungicide, suggesting that extra virgin avocado oil is not a good option for managing anthracnose, probably due to the oil extraction method used in the study.

Keywords: Anthracnose, extra virgin oil, avocado, antifungal

Introducción

El aguacate (*P. americana* Mill) es una especie que pertenece a la familia Lauraceae y que tiene sus orígenes en las áreas tropicales y subtropicales de Mesoamérica (Nascimento et al, 2025). Debido al alto valor nutricional de su fruto y a la amplia gama de usos que tiene en la industria cosmética y en la medicina natural, esta planta ha tenido una relevancia cultural y económica importante a lo largo de la historia. Su evolución, que se ha registrado en fósiles del Plioceno en América del Norte, muestra una adaptación duradera a los climas cálidos y húmedos. Esta riqueza en términos biológicos y evolutivos se manifiesta en una complicada composición fitoquímica que existe dentro del fruto. Hoy en día, el uso de estos compuestos bioactivos, especialmente mediante la extracción de aceites y metabolitos, es un campo de investigación muy interesante. Esto hace que el aguacate sea considerado no solo como alimento, sino también como una prometedora fuente de bioinsumos para la gestión agrícola sostenible (Schroeder, 1969)

En este contexto la antracnosis es una de las restricciones fitosanitarias más graves que enfrentan los cultivos de alto valor comercial, como el cacao (*Theobroma cacao*), en los sistemas productivos del trópico húmedo (Peralta-Ruiz et al, 2023). El hongo fitopatógeno *C. gloeosporioides*, el cual produce manchas hundidas y daños necróticos en los tallos, las hojas y los frutos, es la principal causa de esta enfermedad. Esto disminuye significativamente el valor económico de las cosechas. Las condiciones agroclimáticas particulares, como temperaturas sobre los 25 °C y humedades relativas que superan el 80 % (Landero-Valenzuela et al, 2016), favorecen en gran medida la rápida difusión de este patógeno y el ciclo de infección.

Ante esta problemática, históricamente, se ha requerido el uso intensivo de fungicidas sintéticos para controlar la antracnosis. No obstante, investigaciones toxicológicas a nivel mundial alertan de que la utilización prolongada e indiscriminada de los fungicidas sintéticos genera graves daños en los agroecosistemas. Dichos fungicidas, además de fomentar la acumulación de desechos tóxicos que deterioran las características biológicas del suelo y polucionan los recursos hídricos, generan una presión de selección que causa una resistencia genética elevada en las poblaciones del hongo (Zubrod et al, 2019).

Por todo lo mencionado, es esencial desarrollar alternativas agroecológicas dirigidas al control biológico frente a este problema. Una de las estrategias que se han usado con buenos resultados es el aceite extra virgen derivado de la pulpa del aguacate, este se caracteriza por tener una matriz lipídica compleja, con una alta concentración de flavonoides, polifenoles y ácidos grasos insaturados como el ácido linoleico y oleico (Nascimento et al, 2025). La composición fitoquímica, según investigaciones por Ramos-Aguilar et al, (2021), le otorga al aceite propiedades antifúngicas y antimicrobianas comprobadas frente a hongos

fitopatógenos, como el *Colletotrichum* (Donoso et al, 2024). Su capacidad como biocontrolador se basa en un mecanismo de acción doble: su gran densidad crea una barrera física que restringe la oxigenación del patógeno, y los compuestos bioactivos modifican la permeabilidad de las membranas celulares fúngicas, lo que ejerce una potente acción inhibidora sobre el desarrollo del micelio (Nasri et al, 2024).

Por lo tanto, es necesario validar científicamente este aceite evaluando su eficacia en concentraciones precisas (200, 300, 400 y 500 mg/L) junto con su control positivo y negativo, estabilizadas en el medio de cultivo mediante el agente emulsificante Tween 80 (polisorbato 80, Sigma-Aldrich, CAS N° 9005-65-6), un surfactante no iónico que posibilita la homogeneización estable del aceite en el medio acuoso de cultivo. Esto representa una necesidad de investigación importante para la región. Utilizar el aceite extra virgen de aguacate constituye una oportunidad fundamental para analizar su acción inhibidora *in vitro* contra las cepas nativas de *C. gloeosporioides*. Este método busca proporcionar pruebas técnicas que establezcan a este bioinsumo lipídico como un instrumento factible para controlar la antracnosis, lo que fomentaría una transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles, disminuiría la dependencia de agroquímicos y favorece la sostenibilidad de los sistemas cacaoteros en el trópico húmedo.

CAPÍTULO I

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el potencial del aceite extra virgen de aguacate (*P. americana)* como agente antifúngico para el control *in vitro* de *C. gloeosporioides.*

1.1.1 Objetivo Específico

- Determinar el efecto de distintas concentraciones de aceite extra virgen de aguacate sobre el crecimiento del micelio de *C. gloeosporioides* en condiciones de laboratorio.
- Identificar la concentración más efectiva del aceite de aguacate para inhibir el desarrollo del hongo.

CAPÍTULO II

2. Problemática

La utilización completa del aguacate (*P. americana*) en el sector agrícola sigue siendo un desafío, especialmente en cuanto a la valorización de sus productos derivados con potencial funcional. Aunque el aceite extra virgen de aguacate ha sido conocido por sus propiedades nutricionales y usos en cosmética, su uso en la agricultura en particular como un agente antifúngico continúa siendo limitado e insuficientemente estudiado (Dreher & Davenport, 2013; Ford et al, 2023). En un contexto en el que la sustentabilidad y la utilización eficaz de los recursos agroindustriales son esenciales, se hace necesario investigar otros usos para este aceite que fomenten sistemas de producción más sostenibles (FAO, 2017; FAO, 2025).

Por otra parte, los sistemas de cultivo en zonas tropicales, como Colombia, están bajo amenaza permanente debido a la presencia de hongos fitopatógenos que disminuyen considerablemente la calidad y la producción de las cosechas (Quintero-Mercado et al, 2025). A lo largo de la historia, el tratamiento de estos patógenos se ha fundamentado en la utilización intensiva de fungicidas sintéticos (Marín-Ramírez & Ferrucho, 2025). No obstante, este método ha generado graves problemas, como la resistencia microbiana,

contaminación ambiental y varios riesgos para la salud de los seres humanos y los animales (Lucas et al, 2015).

En este contexto, varios estudios han mostrado que el aceite extra virgen de aguacate tiene una matriz rica en compuestos bioactivos como los fitoesteroles, los ácidos grasos insaturados y los compuestos fenólicos, a los que se les atribuyen propiedades antioxidantes y antimicrobianas significativas (Ozdemir & Topuz, 2004; Wang et al, 2010). Aunque estas propiedades indican su gran potencial como antifúngico natural, la evidencia científica que demuestre su eficacia particular contra los hongos fitopatógenos desde una perspectiva agroecológica es todavía escasa.

Asimismo, el uso de este aceite extra virgen para controlar patógenos no solo reduciría la dependencia de los agroquímicos sintéticos, sino que también añadiría valor a la cadena productiva del aguacate y promovería prácticas sostenibles y de economía circular en el campo agrícola (Dreher & Davenport, 2013; FAO, 2017). No obstante, el hecho de que no existan muchas investigaciones sistemáticas que analicen su efectividad en condiciones locales limita por ahora su implementación en los sistemas de producción.

Por lo tanto, resulta crucial llevar a cabo investigaciones que permitan analizar el potencial del aceite extra virgen de aguacate, formulado en concentraciones exactas (200, 300, 400 y 500 mg/L) comparado con un control positivo que corresponde con el fungicida comercial FORDAZIM y un control negativo que solo incluye medio PDA y el patógeno, así como un tratamiento estandarizado con emulsificante (Tween 80), como una alternativa biológica para inhibir el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos. La validación científica de estas dosis contribuirá a fortalecer estrategias de control que sean sostenibles, resilientes y respetuosas con el medio ambiente, reduciendo el impacto negativo de los tratamientos convencionales en el trópico.

2.1 Pregunta problema

¿Qué nivel de eficacia inhibitoria presentan diferentes concentraciones de aceite extra virgen de aguacate (*P. americana*) sobre el crecimiento *in vitro* del hongo fitopatógeno *C. gloeosporioides*?

CAPÍTULO III

3. Justificación

Este estudio se desarrolla como una solución técnica a la apremiante necesidad de controlar la antracnosis, enfermedad provocada por el hongo C. *gloeosporioides* que impacta profundamente la productividad de cultivos importantes en los Llanos Orientales, especialmente el cacao. La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria y otras organizaciones oficiales han registrado que la agresividad de los patógenos fúngicos se agudiza en el piedemonte llanero, que incluye a municipios del departamento del Meta. Esto tiene un impacto negativo en los ingresos y la subsistencia de los productores locales (Rojas González et al, 2019). La importancia de esta investigación reside en la posibilidad de hallar respuestas eficaces y respetuosas con el medio ambiente para este dilema, a través del progreso en el conocimiento de la fitopatología tropical en beneficio directo del sector agrícola.

Desde un punto de vista metodológico, la creación de un bioensayo *in vitro* proporciona un ambiente muy preciso para aislar el patógeno y examinar con rigor su conducta. Esta metodología posibilita examinar minuciosamente la efectividad inhibidora de varias concentraciones (200, 300, 400 y 500 mg/L) de aceite extra virgen de aguacate

estabilizadas con emulsificadores como el Tween 80, en comparación con tratamiento que emplean fungicida como carbendazim (FORDAZIM 5FW). Es esencial para crear opciones viables que cambien las prácticas de gestión agronómica hacia la sostenibilidad, cuestionar y comparar la efectividad real de los ingredientes activos comerciales con las matrices lipídicas naturales.

Este proyecto se basa en gran parte en los principios de la ingeniería agroecológica y el control biológico, en medio de la crisis ambiental mundial. Según Nicholls & Altieri, 2019 para poder transitar hacia agroecosistemas resilientes, es necesario reemplazar de manera gradual los agroquímicos sintéticos por bioinsumos que no produzcan resistencia genética en las poblaciones de plagas y enfermedades, sean seguros para la salud humana y no dañen el medio ambiente. En esta línea, el objetivo es reducir al mínimo los peligros de toxicidad en las fuentes hídricas y en los suelos que se relacionan con la utilización crónica de fungicidas.

La elección del aceite extra virgen de aguacate (*P. americana*) como opción de biocontrol se fundamenta en la complejidad de su composición fitoquímica. La abundante combinación de compuestos bioactivos y ácidos grasos que tiene este aceite demuestra una actividad fungistática destacable, que puede modificar el desarrollo celular de los patógenos y desempeñar la función de barrera natural protectora (Ramos-Aguilar et al, 2021). El aguacate, al aprovechar estas propiedades lipídicas más allá de su uso alimenticio o cosmético, adquiere un valor adicional esencial para la creación de nuevos bioplaguicidas.

Por último, las repercusiones de esta investigación se extienden al campo académico y al productivo. Desde una perspectiva científica, proporciona pruebas estandarizadas acerca de la utilización de aceites vegetales densos para el control de patógenos resistentes.

Proporciona, en términos sociales y agrícolas, a los agricultores de cacao de la región del Meta instrumentos informativos para implementar prácticas de control que sean más seguras, asequibles y económicas. Así, el estudio supone un progreso importante en cuanto a la disminución de la dependencia química, la salvaguarda de la biodiversidad local y el afianzamiento de la soberanía productiva en la región de la Orinoquía colombiana

CAPÍTULO IV

4. Marco teórico

4.1 Hongos fitopatógenos de importancia económica en postcosecha

Las frutas, al ser productos altamente perecederos, son vulnerables a la acción de diversos microorganismos que pueden deteriorarlas tanto en el campo como durante su almacenamiento. Entre los agentes más comunes responsables de estas afecciones se encuentran los hongos fitopatógenos, término que proviene del griego y hace referencia a aquellos hongos que provocan enfermedades en las plantas (Trigos et al, 2008). Se estima que existen más de 8000 especies de hongos capaces de provocar enfermedades en cultivos agrícolas. Prácticamente todas las especies vegetales son susceptibles al ataque de uno o más tipos de estos hongos y a su vez, una misma especie fúngica puede afectar a distintas familias de plantas. Estos patógenos suelen desarrollarse parcialmente como parásitos en los tejidos vegetales vivos y en otros momentos, como saprofitos en restos vegetales presentes en el suelo (Torres Arroyo et al, 2022).

Dado su elevada tasa de reproducción y su amplia diversidad, los hongos fitopatógenos representan una de las principales amenazas para la agricultura, dificultando en muchas ocasiones su manejo y control eficaz (FAO, 2014).

Las manifestaciones de estas infecciones fúngicas son diversas e incluyen desde manchas cloróticas o necróticas, deformaciones, tizones y podredumbres, hasta malformaciones como agallas o abolladuras y síntomas severos como marchitamiento y ahogamientos de las plantas (Urbina, 2011).

Además del daño visual o estructural que ocasionan en los frutos, estos hongos comprometen la calidad de los productos, afectando su valor en el mercado. Las pérdidas atribuibles a estas enfermedades pueden alcanzar entre el 30% y el 95% de la productividad total. Una de las especies fúngicas más agresivas y extendidas a nivel global es *C. gloeosporioides,* especialmente en regiones de climas tropicales y subtropicales (Juárez-Becerra et al, 2010).

4.2 *C. gloeosporioides*

C. gloeosporioides es un hongo que causa enfermedades en plantas, conocido por su alta capacidad de multiplicarse y su amplia distribución geográfica. Se le considera de gran relevancia económica, ya que provoca considerables pérdidas en diversos cultivos agrícolas. Esta especie ataca tanto las partes vegetativas como las reproductivas de las plantas, ocasionando síntomas que afectan de manera notable la calidad y la cantidad de los productos agrícolas. Es especialmente vinculado a enfermedades que ocurren después de la cosecha en frutas tropicales y subtropicales, donde puede quedarse en estado inactivo hasta que la fruta comienza a madurar, momento en el cual vuelve a activarse y causa daños visibles (Latunde-Dada et al, 2012).

Entre las afecciones más frecuentes asociadas a este hongo se incluyen la antracnosis, el marchitamiento, la putrefacción de raíces, las manchas en las hojas, la pudrición de flores y los tizones en plántulas, impactando a una amplia gama de hospederos. *C. gloeosporioides*

es visto como un patógeno de amplio espectro, capaz de infectar muchos géneros de plantas, lo que lo convierte en uno de los responsables más significativos de las pérdidas en cultivos tropicales en todo el mundo según Kim, (1999). Asimismo, su habilidad para sobrevivir en tejidos que parecen sanos como endófito le permite persistir en el entorno y activar la infección bajo condiciones propicias, particularmente durante el almacenamiento y la venta de frutas

Además, este hongo exhibe una notable variabilidad genética y forma parte de un grupo de especies dentro del género *Colletotrichum,* lo que complica su clasificación y control. Su gran adaptabilidad le permite colonizar distintos ecosistemas y hospederos, así como desarrollar métodos de infección eficaces, incluyendo la formación de apresorios que facilitan la entrada a los tejidos vegetales. Debido a estas características, *C. gloeosporioides* es identificado como uno de los patógenos más relevantes que causan enfermedades postcosecha en frutas como mango, aguacate, papaya y otros cultivos de gran importancia económica, causando pérdidas significativas durante el almacenamiento y transporte (De Silva et al, 2017).

4.2.1 *Clasificación taxonómica*

C. gloeosporioides es un hongo que causa enfermedades en las plantas y se encuentra en muchas regiones. Forma parte del grupo de los ascomicetes y está vinculado a problemas como la antracnosis en varios cultivos tropicales y subtropicales. Este organismo pertenece al género *Colletotrichum,* que es conocido por albergar especies que son cruciales para la agricultura, ya que pueden infectar diferentes tipos de hospederos y provocar daños considerables en la producción (Cannon et al, 2012).

En la siguiente Tabla.1 se encuentra la clasificación taxonómica del *C. gloeosporioides.*

Tabla 1. *Clasificación taxonómica del C. gloeosporioides*

Reino	**Fungi**
Phylum	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Glomerellales
Familia	Glomerellaceae
Género	*Colletotrichum*
Especie	*C. gloeosporioides*

4.2.2 *Antracnosis*

La antracnosis es una patología causada por el hongo *C. gloeosporioides*, que tiende a afectar tanto tejidos muy jóvenes como aquellos envejecidos o debilitados físicamente. Los brotes más intensos en los frutos se presentan cuando el cultivo se encuentra en una etapa vulnerable, como la floración o la formación de frutos, coincidiendo con condiciones climáticas húmedas, alta humedad relativa superior al 90 % y temperaturas por encima de los 20 °C. Las fuentes de inóculo suelen localizarse en distintas partes del árbol, incluyendo hojas, ramas, inflorescencias, brácteas y yemas de los frutos. Esta enfermedad tiene mayor prevalencia en zonas de clima tropical y subtropical.

La manifestación de la enfermedad es causada por varias especies del género *Colletotrichum spp.* Se caracteriza por la aparición de manchas oscuras sobre hojas y frutos, con formas circulares u ovaladas, y tamaños que pueden variar desde 1–2 mm hasta alcanzar los 5 cm de diámetro. Las lesiones pueden ser levemente hundidas o presentar bordes algo

elevados, con tonalidades que van desde marrones a negras. En ciertos casos, la infección inicia con colores rojizos o púrpuras, los cuales evolucionan hasta adquirir tonos marrones oscuro o negro intenso. El término "antracnosis" proviene del aspecto visual de estas lesiones necróticas deprimidas (Rivera et al, 2022).

4.2.3 *Proceso de infección*

El hongo *C. gloeosporioides* inicia su proceso de infección al entrar en contacto directo con el fruto u otra parte susceptible de la planta, sin requerir necesariamente una herida para penetrar el tejido. El inóculo puede originarse en plantas previamente infectadas, y las esporas se diseminan hacia los frutos en desarrollo a través del viento o mediante salpicaduras de agua por efecto de la lluvia (Chau, 1983; Bogantes-Arias et al, 2013).

Una vez que uno de los conidios se asienta sobre la superficie del fruto, este puede germinar si la humedad relativa es cercana al 100 % y la temperatura se mantiene entre 25 y 29 °C. En estas condiciones, el hongo sintetiza una enzima llamada cutinasa, crucial para atravesar la cutícula del tejido vegetal. Pasado un periodo de varias horas, el tubo germinativo se extiende, y su extremo se ensancha formando una estructura especializada denominada apresorio, que permite al hongo adherirse firmemente al fruto (Binyamini, 1972; Vecchio et al, 2026).

El hongo *C. gloeosporioides* puede permanecer en estado latente, es decir, inactivo por un periodo determinado, pero con capacidad de reactivarse. Durante esta fase, el patógeno se mantiene adherido a la epidermis del fruto mediante estructuras como el apresorio y la hifa subcuticular. La reactivación del hongo suele ocurrir durante la etapa de postcosecha, cuando el fruto entra en su fase de maduración o climatérica. Este proceso se

ve favorecido por temperaturas superiores a 25 °C, alta humedad relativa mayor al 90 % y condiciones nutricionales óptimas, especialmente la presencia de azúcares simples y ácidos orgánicos que resultan de la degradación de carbohidratos por enzimas propias del fruto en maduración.

Una vez que las hifas subcuticulares reactivan su actividad, estas comienzan a extenderse y a invadir rápidamente los tejidos del hospedero, provocando los síntomas característicos de la antracnosis (Verhoeff, 1974; Rodríguez D, 2022).

Además, el desarrollo de esta enfermedad también puede continuar durante la comercialización del fruto, especialmente si se ha dado un manejo inadecuado en las etapas previas, durante o después de la cosecha, lo que contribuye a una mayor incidencia del patógeno en los anaqueles (Arauz, 1983; Saborío et al, 2000).

4.2.4 *Especies frutales afectadas por antracnosis*

C. gloeosporioides ha sido identificado como agente causal de infecciones en diversas especies frutales, entre las que se encuentran el cacao, aguacate, cítricos, mango, papaya, plátano, maracuyá y guayaba. Este hongo, responsable de la enfermedad conocida como antracnosis, afecta tanto a las hojas como a los frutos. En el follaje, las infecciones se manifiestan como manchas necróticas de tonalidad oscura y forma concéntrica, especialmente visibles en el envés y localizadas a lo largo de las nervaduras. En los frutos, las lesiones se caracterizan por ser hundidas, de color negro y con bordes claramente delimitados (Marulanda, 2007; Agreda, 2016).

En México, los agricultores han reportado pérdidas significativas durante la etapa de postcosecha de frutas frescas. En el caso de la papaya (*Carica papaya*), las pérdidas pueden oscilar entre el 40 % y el 100 %, en cultivos de aguacate (*P. americana* Mill.), la enfermedad genera reducciones cercanas al 20 % de la producción, asimismo, en especies como tomate de árbol, manzano y mora cultivadas a cielo abierto, las pérdidas pueden superar el 50 % (Saldarriaga Cardona, 2008; Novoa Barahona, 2024).

4.2.5 *Control químico*

El uso de productos químicos es una de las metodologías más comunes para controlar la antracnosis provocada por *C. gloeosporioides*, ya que son eficaces para frenar el crecimiento y la dispersión del patógeno. Este tipo de control implica la aplicación de fungicidas de contacto, tales como los compuestos cúpricos (hidróxido de cobre y oxicloruro de cobre), los cuales impiden la germinación de las esporas, así como fungicidas sistémicos como azoxystrobin, carbendazim y benomil, que afectan procesos metabólicos clave del hongo, logrando un control efectivo tanto en el cultivo como después de la cosecha según (Chan-Cupul et al, 2024; MacKenzie et al, 2009). La aplicación de estos fungicidas debe llevarse a cabo de manera preventiva o en las primeras fases de la infección, usando aspersores para garantizar que los tejidos vegetales queden completamente cubiertos, especialmente en condiciones que favorecen el crecimiento del patógeno. Se sugiere realizar aplicaciones de forma regular normalmente semanalmente o cada 7 a 14 día, según la presión de la enfermedad y el entorno, mientras que tras la cosecha se pueden utilizar tratamientos de inmersión o pulverización de los frutos en soluciones de fungicidas a ciertas concentraciones para disminuir la presencia de la enfermedad durante el almacenamiento (MacKenzie et al, 2009). Varios estudios han mostrado que estos ingredientes activos pueden

reducir notablemente la aparición de la enfermedad en cultivos tropicales, mejorando tanto la calidad como el rendimiento de los frutos (Chan-Cupul et al, 2024).

4.3 Método de control

4.3.1 *Aceites extra- Virgen*

Los aceites extra- vírgenes son grasas obtenidas mediante técnicas mecánicas de extracción en frío, sin emplear productos químicos ni tratamientos térmicos intensos, lo que contribuye a conservar sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. Estos aceites se componen mayormente de triglicéridos que contienen altos niveles de ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico, y también incluyen en menor cantidad compuestos como tocoferoles, esteroles y sustancias fenólicas, que les otorgan características antioxidantes y efectos biológicos. A diferencia de los aceites esenciales, los aceites vegetales extra- vírgenes son no volátiles y presentan una consistencia aceitosa, lo que mejora su estabilidad y aplicabilidad en diversas industrias, como la alimentaria, cosmética y farmacéutica (Dreher & Davenport, 2013).

Diversas especies vegetales sintetizan estos aceites como parte de su metabolismo, almacenados principalmente en semillas y frutos, sirviendo como una fuente de energía almacenada. En cuanto al aceite de aguacate extra virgen, su composición puede cambiar dependiendo de factores como la variedad, el entorno donde se cultiva y los métodos de extracción utilizados. Numerosos estudios han demostrado que los componentes presentes en los aceites extra vírgenes, especialmente los ácidos grasos insaturados y los compuestos fenólicos, tienen propiedades antimicrobianas frente a distintos microorganismos. El mecanismo por el cual estos aceites actúan contra los hongos está relacionado con la

alteración de la estructura de su membrana celular, lo que modifica su permeabilidad y lleva a la pérdida de componentes celulares esenciales. Además, estos aceites pueden interferir en procesos metabólicos y enzimáticos, causando desorden en el contenido celular, inhibiendo el crecimiento de hifas y disminuyendo la germinación de esporas (Ozdemir et al, 2004; Wang, 2010). Estas cualidades hacen que los aceites extra- vírgenes sean una opción prometedora para combatir patógenos fúngicos, con un posible uso en la agricultura sostenible.

4.3.2 *Actividad antifúngica de aceites extra- virgen*

Según Dreher & Davenport, (2013), los aceites extra- virgen han mostrado tener propiedades antifúngicas contra varios patógenos, principalmente debido a su alta concentración de ácidos grasos insaturados, compuestos fenólicos y tocoferoles. Estos elementos bioactivos pueden afectar tanto la estructura como el funcionamiento de la membrana celular de los hongos, modificando su permeabilidad y causando la destrucción de componentes intracelulares vitales, lo que resulta en la disminución del crecimiento micelial y de la producción de esporas. Según la concentración y la especie de hongo, estos aceites pueden desempeñar el rol de fungicidas o fungistáticos, alterando procesos metabólicos esenciales del microorganismo.

Además, los aceites extra- virgen pueden ser utilizados en aplicaciones de laboratorio y en tratamientos posteriores a la cosecha, donde no solo afectan directamente a los hongos, sino que también crean una barrera protectora sobre la superficie de los tejidos vegetales, dificultando la adhesión y la penetración de los patógenos. Esta acción combinada ayuda a disminuir la frecuencia de enfermedades fúngicas, posicionando a los aceites vegetales como

una opción sostenible en las estrategias de manejo integrado de plagas, con un impacto ambiental inferior al de los fungicidas sintéticos (Augello et al, 2024).

4.3.3 *Aceite extra- virgen de aguacate*

El aguacate (*P. americana* Mill) es una de las variedades más significativas a nivel global debido a su alto contenido de grasas y valor nutricional. El aceite de aguacate Hass de grado extra virgen se produce a través de métodos mecánicos de prensado en frío, lo que permite mantener sus compuestos bioactivos sin el uso de solventes químicos ni calor. Este método de extracción asegura la calidad del aceite, que se distingue por su alta cantidad de ácidos grasos insaturados, en especial el ácido oleico, y por la presencia de antioxidantes como tocoferoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos que aportan a sus propiedades funcionales y estabilidad (Krumreich et al, 2018).

El aceite de aguacate extra virgen posee una composición química que le otorga características biológicas de relevancia, tales como actividad antioxidante y un potencial para combatir microorganismos. La porción lipídica, junto con los compuestos bioactivos, puede interactuar con las estructuras celulares de los microorganismos, especialmente afectando la membrana celular, lo que puede alterar su integridad y permeabilidad. Esta interacción puede llevar a la desorganización de la membrana celular, pérdida de componentes internos y trastornos en procesos metabólicos vitales, limitando así el crecimiento de microorganismos dañinos. Por esta razón, el aceite de aguacate Hass extra virgen ha sido considerado como un producto natural con posibilidades de uso en diversas áreas, incluyendo la alimentación, la cosmética y la agricultura (Wang, 2010).

4.3.4 *Clasificación taxonómica*

El aguacate (*P. americana* Mill) constituye una de las variedades más cultivadas en todo el mundo, gracias a su elevado valor nutritivo y su contenido de grasas. Se distingue por su pulpa cremosa, la cual es rica en ácidos grasos no saturados, principalmente en ácido oleico, así como en compuestos bioactivos tales como tocoferoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos (Dreher & Davenport, 2013).

En la siguiente **Tabla.2** se encuentra la clasificación taxonómica del *P. americana* Mill.

Tabla 2. *Clasificación Taxonómica P. americana* Mill

Nombre científico	***Persea americana***
Reino	Plantae
División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Laurales*
Familia	*Lauraceae*
Tribu	*Perseae*
Género	*Persea*
Especie	*Persea americana* Mill

4.3.5 *Control con producto químico*

El fungicida carbendazim (FORDAZIM 5FW) es un producto que actúa tanto de forma sistémica como por contacto, lo que permite un control tanto preventivo como curativo contra varios hongos que afectan las plantas; este compuesto actúa inhibición la producción de beta tubulina durante el proceso de mitosis, lo que impide la creación de microtúbulos y detiene la división celular del hongo, afectando su crecimiento y desarrolla del micelio. Además, su formulación en forma de suspensión concentrada mejora su absorción y distribución en los tejidos de las plantas, lo que permite una protección más eficaz contra los

patógenos. Varios estudios documentales en la literatura científica y en las fichas técnicas de productos comerciales han mostrado que el carbendazim es muy efectivo en el manejo de enfermedades fúngicas en varios cultivos (Vela-Corcía et al, 2018).

CAPÍTULO V

5 Materiales y método

5.1 Tipo de investigación

El presente estudio se sitúa dentro de una investigación de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, desarrollado bajo condiciones *in vitro*. Este tipo de estudio permite operar variables de manera controlada para evaluar cómo diferentes tratamientos afectan a un organismo particular. En esta ocasión, se examinó la eficacia antifúngica del aceite de aguacate extra virgen *(P. americana* cv. *Hass*) contra la proliferación del hongo patógeno *C. gloeosporioides*. Gracias al enfoque cuantitativo, se pudo medir y analizar aspectos como el crecimiento micelial y el porcentaje de inhibición.

5.2 Lugar de estudio

El proceso experimental se realizó en el Laboratorio de biología de la Granja Agroecológica de la Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO, que se encuentra en el municipio de Villavicencio-Meta *(4°04'14. 38"N 73°35'07. 37"W)*, en la vereda Barcelona. Aquí se ejecutaron todas las etapas experimentales del estudio, abarcando la conservación de las cepas, la elaboración de medios de cultivo, la inoculación, y la evaluación de los bioensayos *in vitro*. Las actividades se llevaron a cabo en un entorno controlado de laboratorio, asegurando la asepsia y la normalización de los procedimientos, con el objetivo de garantizar la validez de los resultados obtenidos.

5.3 Material

Para el desarrollo de los objetivos propuestos se utilizaron materiales e instrumentos que se describen a continuación en cada proceso:

5.3.1 *Recolección de cepas fúngicas*

Se utilizó una cepa pura y caracterizada del hongo fitopatógeno *C. gloeosporioides*, conocido como uno de los principales responsables de la antracnosis en una amplia variedad de especies agrícolas según Landero-Valenzuela et al, (2016). La cepa fue obtenida mediante aislamiento a partir de tejido vegetal de plantas de cacao presentes en la granja agroecológica. A partir de estas últimas, se sembraron explantes en medio PDA **(Figura 1)**, y se realizó la obtención de cultivos monospóricos y se identificaron mediante la descripción y medición de los conidios, presencia de acérvulos y otras estructuras diagnósticas descritas en las claves de Weir et al., (2012).

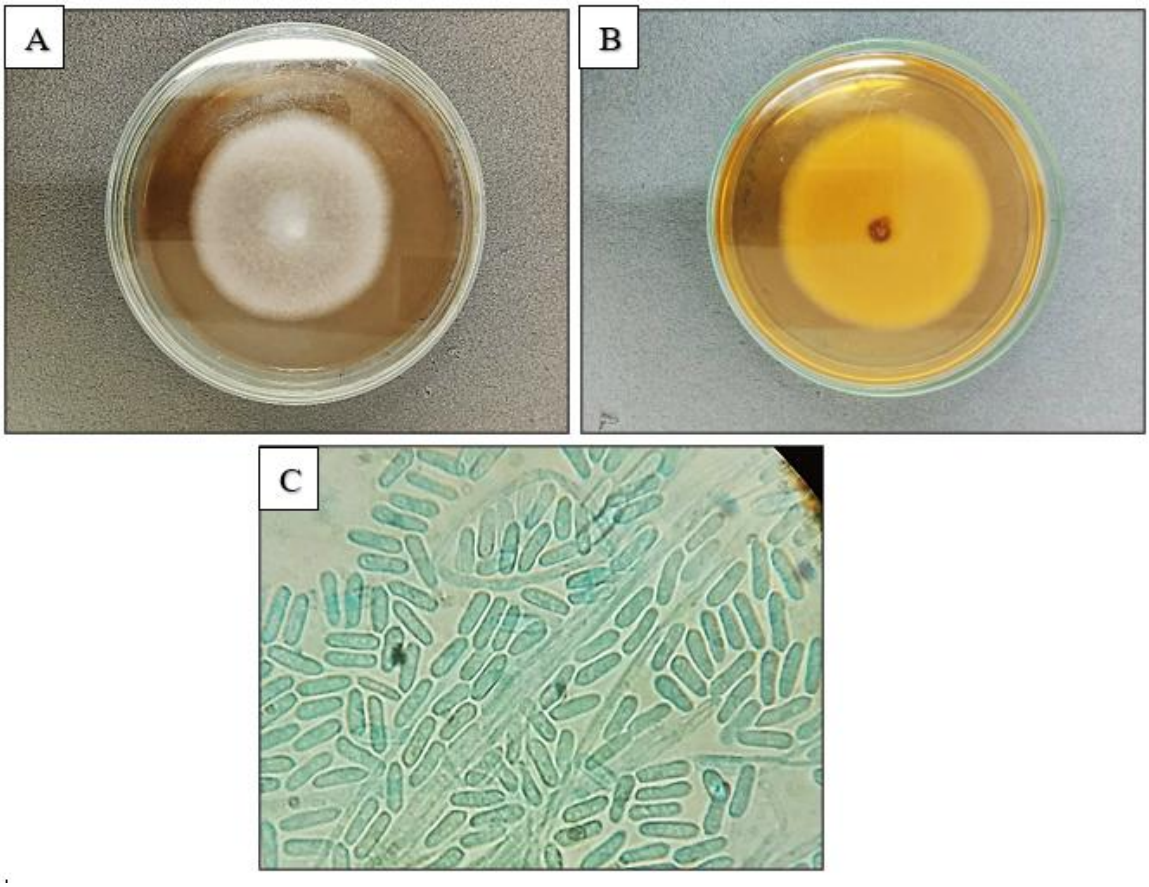


Figura 1. *Cepa de C. gloeosporioides utilizada en el estudio. (A) Crecimiento del hongo observado en el anverso de la caja Petri y la colonia. (B) Crecimiento del hongo observado en el reverso de la caja Petri y la colonia. (C) Observación microscopio de micelio y conidios.*

Antes de realizar los ensayos *in vitro*, se tomaron fragmentos del micelio en fase de crecimiento activo a partir de la cepa madre y se sembraron en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Con el fin de obtener 6 colonias homogéneas, una por cada tratamiento a evaluar. Este procedimiento permitió asegurar un crecimiento uniforme del hongo en todas las unidades experimentales. Posteriormente, fueron incubadas a una temperatura constante de 25 °C durante un periodo de 6 días, bajo condiciones controladas del laboratorio, favoreciendo el desarrollo del micelio y la formación de estructuras reproductivas. Una vez transcurrido este tiempo, se extrajeron discos aproximadamente de 5 mm de diámetro, los cuales fueron utilizados como inóculo en los ensayos *in vitro* para evaluar el crecimiento e inhibición del hongo *C. gloeosporioides* frente a los tratamientos descritos en la **Tabla 3**. Para cada tratamiento se establecieron 8 repeticiones **(Figura 2, Tabla 3)**.

5.4 Procedimiento

5.4.1 *Fase I. Evaluación de la tasa de crecimiento micelial del C. gloeosporioides.*

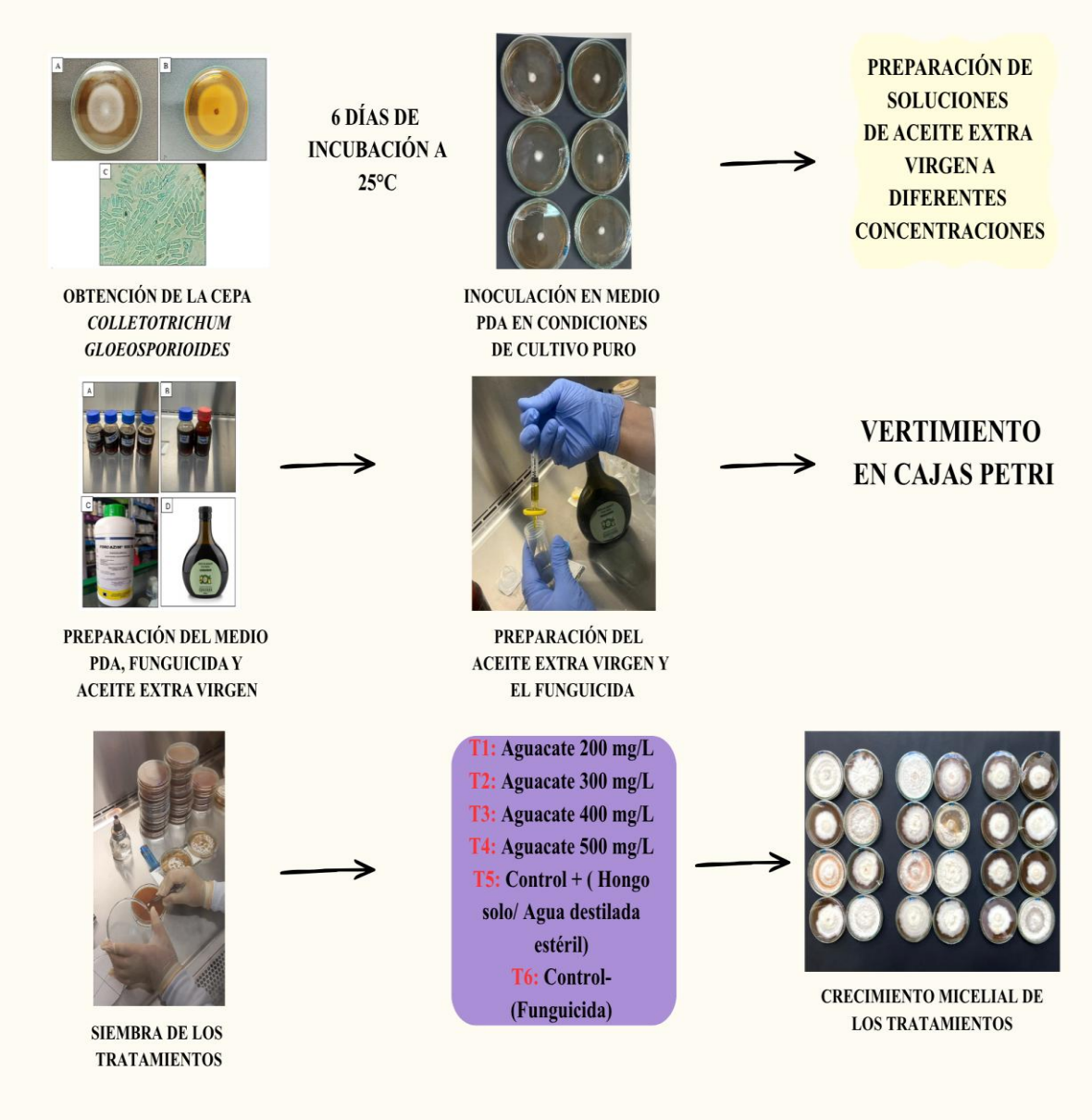
5.4.1.1 Ensayos inhibitorios.

5.4.1.1.1 Preparación de las muestras en laboratorio: dilución del aceite extra virgen en diferentes concentraciones.

El aceite extra virgen de aguacate (*P. americana*) fue adquirido a través de la compra online de la casa comercial GRASSANA. De igual forma se obtuvo el fungicida

FORDAZIM (ingrediente activo Metalaxyl + Mancozeb). Estos dos reactivos fueron esterilizados por filtración antes de ser añadidos al medio de cultivo (PDA), utilizando filtro de membrana con un tamaño de 0,22 μm **(Figura 4)**. Este procedimiento aseguró que los insumos no sufrieran modificaciones en sus compuestos bioactivos a causa de estrés térmico, garantizando su completa inocuidad(Hahn, 2004; Belgaid et al, 2014). Después, en frascos Schott de 500 mL que tenían medios de cultivo líquidos de PDA esterilizados con antelación, se mezclaron, homogeneizaron y disolvieron por medio de agitación. Luego, se incorporaron concentraciones individuales de 200, 300, 400 y 500 ml/L del aceite extra virgen según lo indicado en el tratamiento que aparece en la **Tabla 3**.

Figura 2. *Porciones del hongo C. gloeosporioides empleadas como inóculo en las*



evaluaciones de crecimiento e inhibición en medio PDA con cada uno de los tratamientos. La imagen muestra el proceso de elaboración del medio del cultivo y la inoculación del hongo.

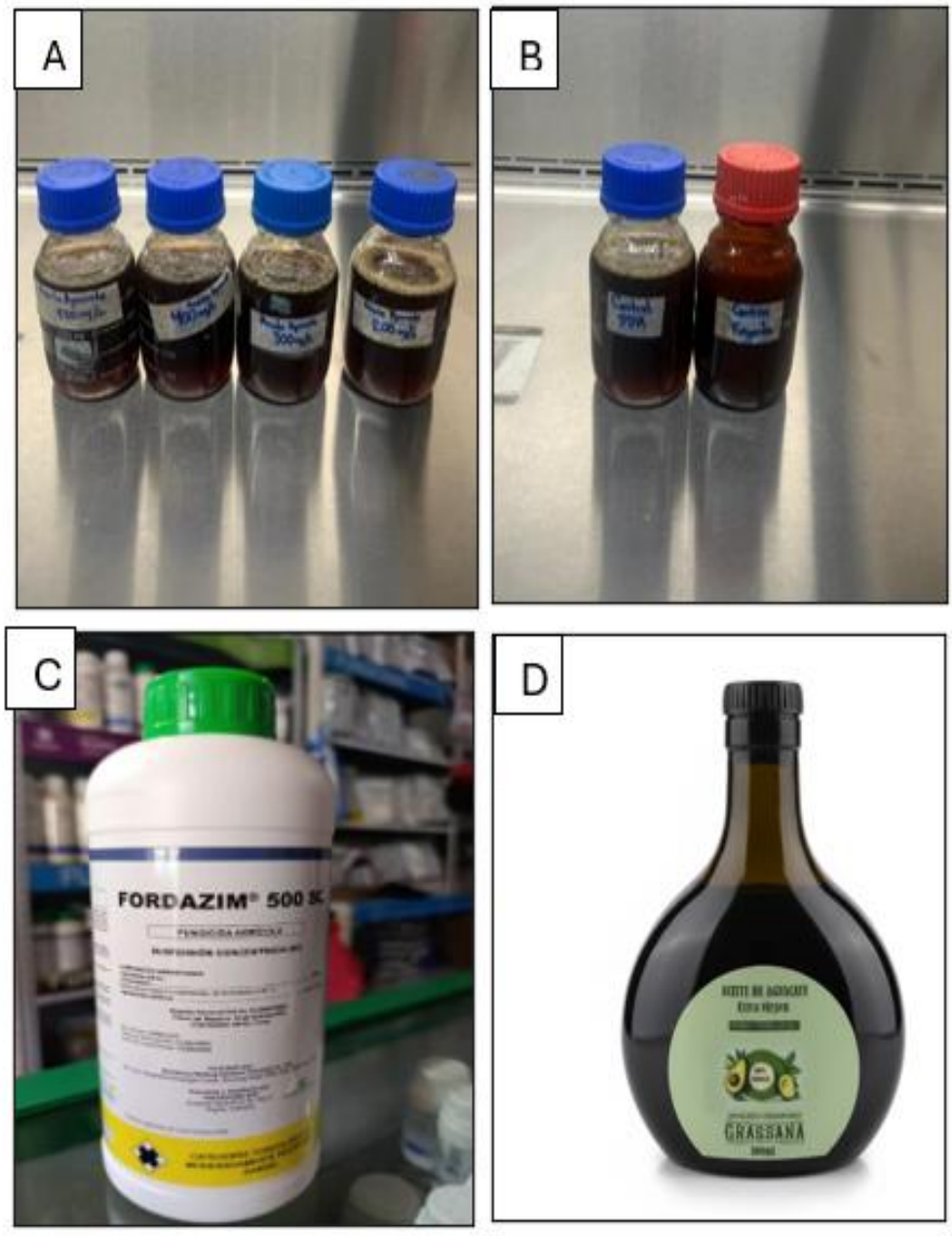


Figura 3. *(A) Y (B); Elaboración del medio PDA con los distintos tratamientos previamente diluidos y homogeneizados. (C) Y (D); Fungicida FORDAZIM y aceite extra virgen utilizado en la investigación.*

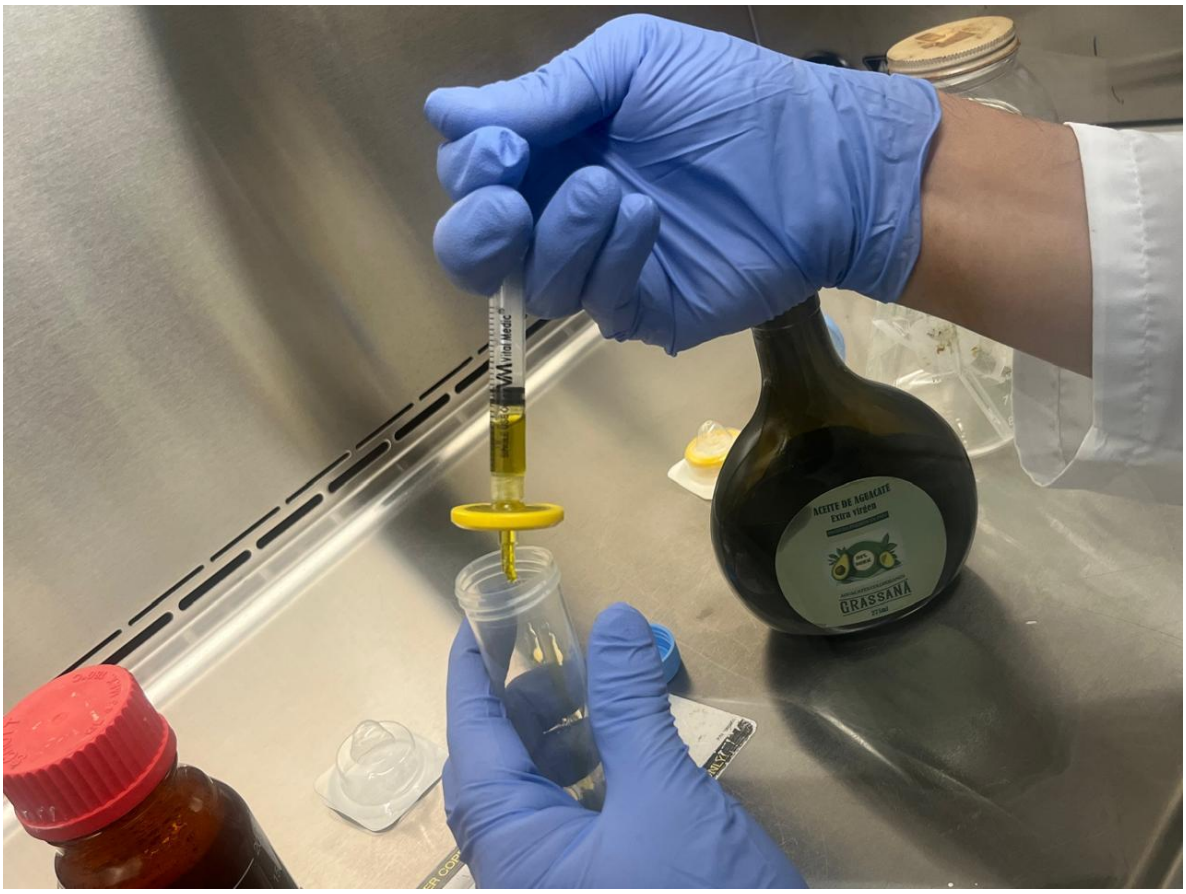


Figura 4. *Procedimiento de esterilización del aceite extra virgen y el fungicida mediante filtración.*

Una vez que los tratamientos fueron preparados y esterilizados, se vertieron en cajas de Petri de 90 x 15 mm. Luego, se colocó en el centro de cada unidad experimental un disco de agar de alrededor de 5 mm de diámetro, que había sido previamente inoculado con el hongo *C. gloeosporioides,* para asegurar una siembra uniforme. Las cajas Petri con los distintos tratamientos fueron incubadas a una temperatura constante de 25 °C durante 13 días en un entorno de laboratorio controlado. Se registró el crecimiento del micelio cada día por medio utilizando un calibrador vernier, lo que permitió evaluar el desarrollo radial del hongo en cada uno de los tratamientos (**Tabla 3**). Se realizaron ocho repeticiones para cada

concentración de aceite extra virgen, en el control positivo (+), se usaron cajas Petri con medio de cultivo (PDA) sin la adición de aceite extra virgen, lo que permitió el crecimiento normal del hongo y el control negativo (-), se utilizaron cajas Petri con producto fungicida. La evaluación del estudio terminó cuando el micelio del tratamiento control cubrió por completo la superficie del medio del cultivo en la caja Petri, según los criterios metodológicos de Sinclair & Dhingra, (2017).

Tabla 3. *Tratamientos para el análisis de la actividad inhibitoria del aceite extra virgen*

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	REPETICIONES
Tratamiento 1- T(200): Aguacate 200 mg/L	Medio PDA con aceite extra virgen de aguacate [200 mg] por cada mL de medio preparado	8
Tratamiento 2- T(300): Aguacate 300 mg/L	Medio PDA con aceite extra virgen de aguacate [300 mg] por cada mL de medio preparado	8
Tratamiento 3- T(400): Aguacate 400 mg/L	Medio PDA con aceite extra virgen de aguacate [400 mg] por cada mL de medio preparado	8
Tratamiento 4- T(500): Aguacate 500 mg/L	Medio PDA con aceite extra virgen de aguacate [500 mg] por cada mL de medio preparado	8
Tratamiento 5- Control + : (Hongo solo/ Agua destilada estéril)	Medio PDA preparado convencionalmente, con solo agua destilada estéril	8
Tratamiento 6- Control - : Control - (Fungicida Fordazim)	Medio PDA con fungicida Fordazim a concentración recomendada por el fabricante 80 Ml/100 L agua, es decir 400 µL de fungicida en 500 ml de medio preparado	8
Cajas Total:		48

Se utilizó un enfoque experimental totalmente aleatorio para recolectar los datos, los cuales fueron analizados de forma cuantitativa. Durante cada repetición, se llevaron a cabo ensayos *in vitro* con el hongo *C. gloeosporioides* y diversas concentraciones de aceite de aguacate extra virgen (*P. americana* cv. *Hass*). Estas pruebas incluyeron la medición de variables como el crecimiento del micelio, expresado en milímetros y el porcentaje de inhibición del crecimiento del hongo. Estos factores permitieron evaluar la efectividad del aceite de aguacate extra virgen en el control del patógeno y compararlo con los controles positivo y negativo definido en el estudio.

5.4.2 *Fase II. Determinación del porcentaje de inhibición del crecimiento de C. gloeosporioides por efecto del aceite extra virgen.*

5.4.2.1 Tasa de crecimiento micelial:

La tasa de crecimiento del micelio se midió en milímetros por día por medio, observando el tamaño de la colonia del hongo *C. gloeosporioides* en cada uno de los tratamientos y contrastándolo con el control negativo. Esta evaluación facilitó la observación de la rapidez con la que se desarrolla el micelio en relación con las distintas concentraciones de aceite de aguacate extra virgen (*P. americana* cv. Hass). Los datos recopilados se utilizaron para realizar comparaciones entre los diferentes tratamientos y medio el efecto de inhibidor, calculando la tasa de crecimiento a través de fórmulas comúnmente utilizadas en investigaciones in vitro de crecimiento de hongos por Velasco, (2016):

$$T.C = (Cf - Ci) / (Tf - Ti)$$

Dónde:

- Cf es el crecimiento final expresado en mm
- Ci es el crecimiento inicial (día uno) expresado en mm
- Tf es el tiempo final en días
- Ti es el tiempo inicial en días

5.4.2.2 Determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides* en relación con el control positivo.

el porcentaje de inhibición se estableció siguiendo el método indicado por Villota-Burbano & Vazquez-Ochoa, (2021), que implica la evaluación del crecimiento radial de la colonia del hongo *C. gloeosporioides* en los medios de cultivo que estaban mezclados con distintas concentraciones de aceite de aguacate extra virgen (*P. americana* cv. Hass) y su comparación con el crecimiento registrado en el grupo de control. Con base en estos datos, se llevó a cabo en cálculo del porcentaje de inhibición utilizando la fórmula que se presenta a continuación:

%Inhibición = ((Crecimiento del control positivo pasado los 12 días - Crecimiento del hongo en el tratamiento) / Crecimiento del control positivo pasado los 12 días) *100

5.4.2.3 Análisis estadístico.

Se realizó mediciones sobre 48 unidades experimentales, (8 cajas Petri/repeticiones por cada uno de los 6 tratamientos=48), sobre las cuales se tomaron medidas de crecimiento radial del micelio de manera diaria. Con lo anterior se realizaron cálculos de la tasa de crecimiento, crecimiento total al final del experimento y porcentaje de inhibición de cada tratamiento, como se describe en los ítems anteriores.

Se realizaron análisis de medias de las variables respuesta de los tratamientos, a través del análisis estadístico de la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, para comparar si existen diferencias significativas entre el porcentaje de inhibición del crecimiento radial del micelio de los tratamientos planteados. Posteriormente se realizó una prueba post-hoc de Mann Whitney. Lo anterior se calculó con la ayuda del programa estadístico PAST 5.3. La selección de la prueba estadística obedeció al comportamiento de los datos obtenidos y el diseño experimental y siguiendo las directrices planteadas por Flores et al., (2017), en las que se constató que el tamaño de muestra, si los datos presentaban una distribución normal y se realizaba una comparación de grupos.

CAPÍTULO VI

6. Resultados y discusión

6.1 Establecimiento de la efectividad antifúngica del aceite extra virgen de aguacate sobre el desarrollo micelial y la esporulación del hongo fitopatógeno

Luego de evaluar el crecimiento radial del micelio de *C. gloeosporioides* bajo el efecto las diferentes concentraciones de aceite extra virgen de aguacate, se encontró que después de los 12 días de siembra en el medio, los tratamientos con concentraciones de 200, 300 y 500 mg/L de aceite de aguacate, presentaron el mayor crecimiento micelial (**ver figura 5 y 6, tabla 4**).

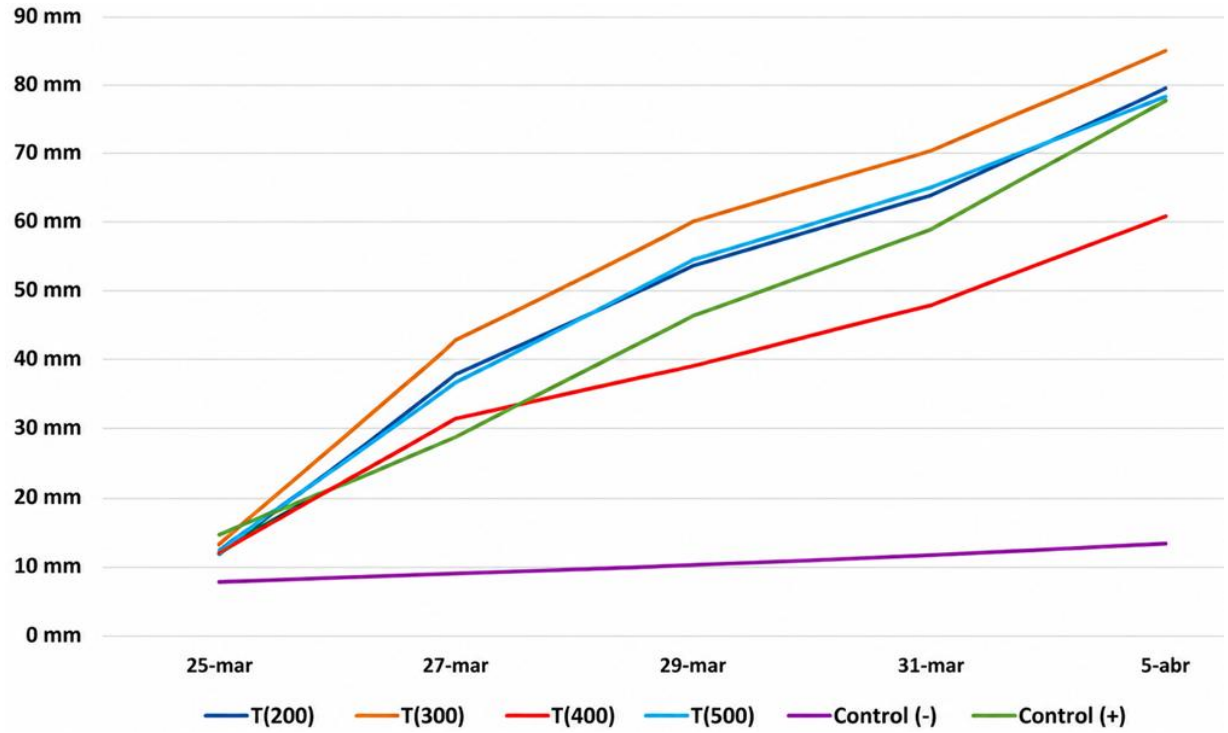


Figura 5. *Crecimiento micelial promedio por tratamiento durante los 12 días del experimento.*

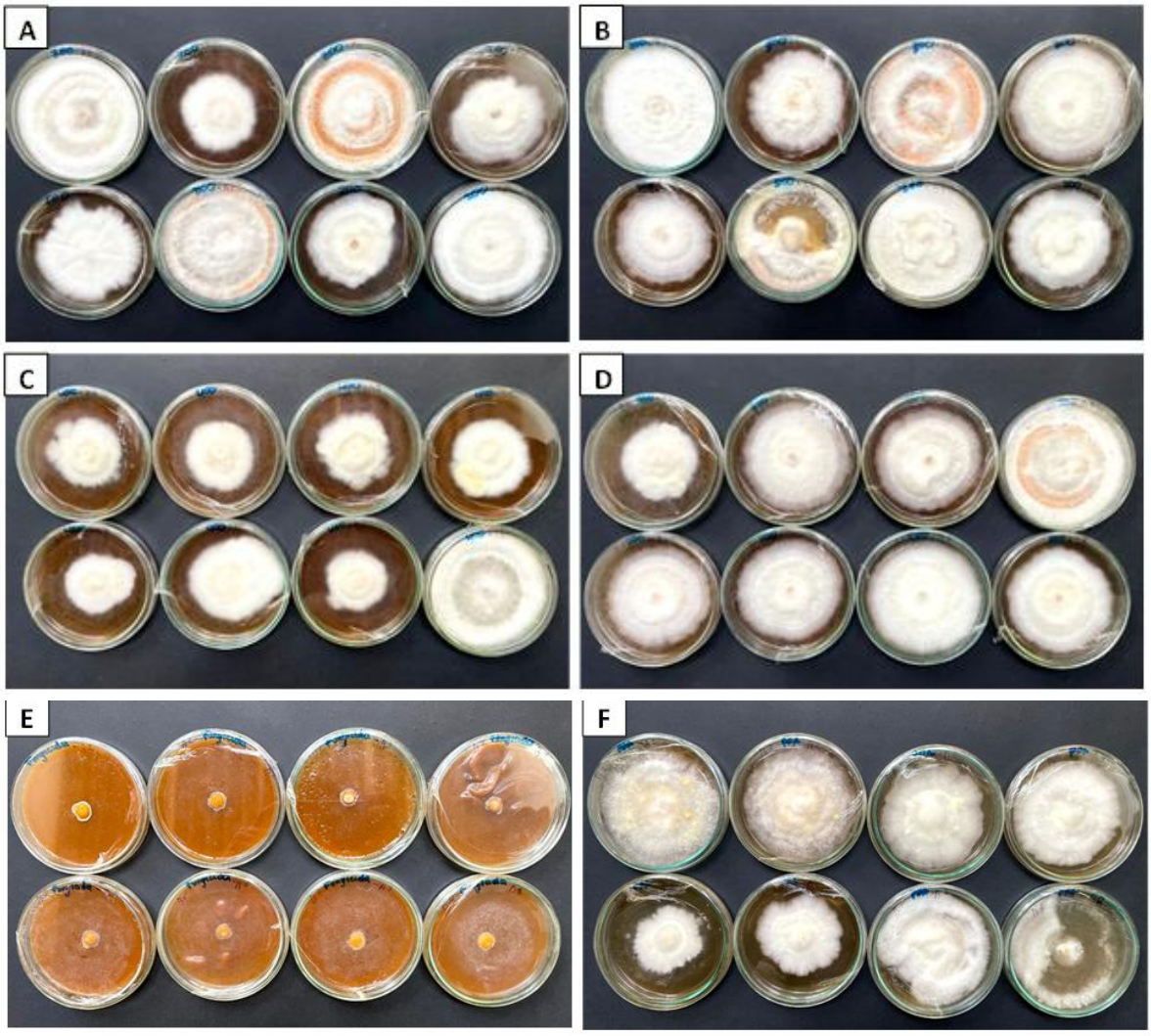


Figura 6. *Crecimiento micelial de C. gloeosporioides a los 12 días en los diferentes tratamientos: (A) 200 mg/L; (B) 300 mg/L; (C) 400 mg/L; (D) 500 mg/L de aceite extra virgen de aguacate; (E) control con fungicida (300 mg/L); (F) control con PDA.*

Como se puede observar en la **figura 5 y 6**, todos los tratamientos en los que se adicionó aceite extra virgen de aguacate al medio, con excepción del tratamiento de concentración 400 mg/L, presentaron un mayor crecimiento con respecto al control negativo (Crecimiento del hongo en medio PDA sin fungicida ni aceite), lo anterior, sugiere que se obtuvo un efecto contrario al que se esperaba. Es decir, al adicionar aceite de aguacate se

generó un efecto de estimulación del crecimiento (Hormesis), en vez de un efecto inhibitorio sobre el hongo *C. gloeosporioides* (**Ver tabla 4**).

Tabla 4. *Resumen del porcentaje de inhibición, tasa de crecimiento, crecimiento micelial total de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento y clasificación de la actividad antifúngica de acuerdo con Arancibia-Avila et al, (2012)*

Tratamiento/ Variable	**T (200)**	**T (300)**	**T (400)**	**T (500)**	**Control (+)**	**Control (-)**
Crecimiento Micelial Total (mm)	79,6	85,0	61,1	78,7	13,6	77,9
Tasa de crecimiento (mm/día)	6,2	6,7	4,7	6,1	0,8	6,1
%PICR	**-2,1**	**-9,1**	**21,6**	**-1,0**	**82,5**	-----
Clasificación de la actividad Antifúngica	Insignificante / Sin actividad	Insignificante / Sin actividad	Actividad Moderada	Insignificante / Sin actividad	Actividad Fuerte	-----

Lo anterior, se corrobora al analizar la tasa de crecimiento del hongo en los diferentes tratamientos y el cálculo del porcentaje de inhibición que se obtuvo de los mismos. Como se observa en la **tabla 4** y **figura 6**, los tratamientos con concentraciones de 200, 300 y 500 mg/L, presentaron un porcentaje de inhibición negativo al realizar la evaluación con la ecuación propuesta por Arancibia-Avila et al, (2012). Lo cual implica que dichos tratamientos crecieron un 1,2 y 9 por ciento más que el tratamiento control (control negativo-sin fungicida ni aceite).

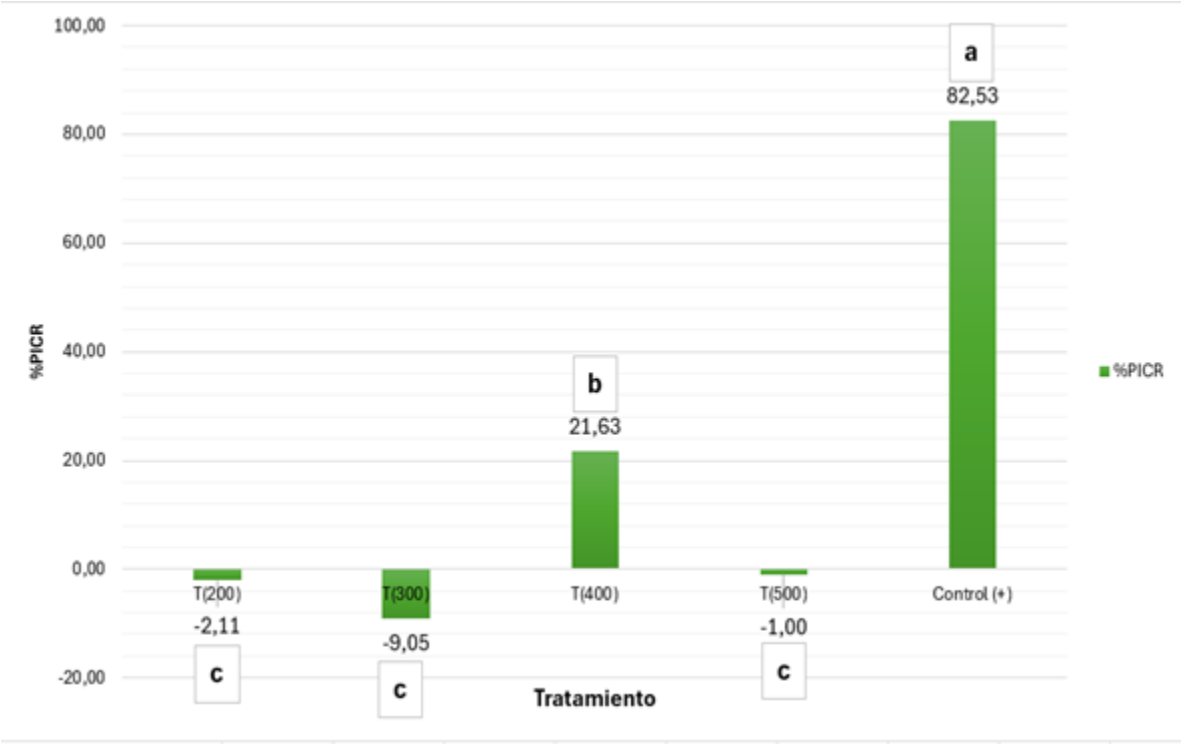


Figura 7. *Resultado del porcentaje de inhibición del Crecimiento radial (%PICR) de cada tratamiento evaluado.*

Los tratamientos con el aceite extra virgen de aguacate no solo generaron un mayor crecimiento radial del micelio, sino que a una tasa igual o superior a la del control negativo (**ver tabla 4**).

6.2 Identificar la concentración más efectiva del aceite de aguacate para inhibir el desarrollo del hongo

Al realizar un comparativo del efecto de las concentraciones de aceite de aguacate sobre el crecimiento o inhibición de hongo *C. gloeosporioides*, se observa que existen diferencias en la acción antifúngica de los diferentes tratamientos (Prueba Kruskal- wallis con P-valor‹0.05). Solo el tratamiento con aceite a concentración 400 mg/L presentó un grado de inhibición moderado (**ver tabla 4**) frente al hongo evaluado, pero no igual o superior a la acción generada por el fungicida evaluado que cuenta con los ingredientes activos Metalaxyl

+ Mancozeb. De hecho, el observar los p-valor de la prueba Mann Whitney muestra que el tratamiento control positivo (con fungicida) es diferente de todos incluido el tratamiento con aceite a concentración 400 mg/L (**ver tabla 5**) y su efecto está muy lejos de lo que generan los tratamientos con el aceite de aguacate.

Tabla 5. *Resultado de la prueba Post hoc de Mann Whitney para comparar los tratamientos realizados. Se indican los P-valor de la comparación entre cada tratamiento.*

	%PICR T(200)	%PICR T(300)	%PICR T(400)	%PICR T(500)	%PICR Control (+)
%PICR T(200)		0,5176	0,01496	1	0,0008989
%PICR T(300)	0,5176		0,008168	0,3973	0,0008989
%PICR T(400)	0,01496	0,008168		0,01564	0,000931
%PICR T(500)	1	0,3973	0,01564		0,000931
%PICR Control (+)	0,0008989	0,0008989	0,000931	0,000931	

De acuerdo a lo observado en la Tabla **5** y en los resultados generales de este estudio, el aceite extra virgen de aguacate utilizado para el experimento, no presenta ningún potencial antifúngico para el control *in vitro* de *C. gloeosporioides*. Este hecho está asociado con el proceso a diferentes factores a discutir entre los que se encuentra el método de obtención del aceite utilizado y un fenómeno denominado hormesis.

Los resultados obtenidos son contrarios a lo encontrado en diversos estudios que han analizado la actividad antifúngica de aceites y extractos vegetales sobre hongos fitopatógenos del género *Colletotrichum*. Según Méndez Zúñiga et al, (2015), emplearon el procedimiento Soxhlet con cloroformo y metanol como solvente para aplicar extractos lipofílicos de la semilla de aguacate criollo (*P. americana* var. *drymifolia*) sobre *C. gloeosporioides*, logrando una inhibición del 71,73 %.; (Villanueva-Arce et al, 2022) informaron que el aceite puro de aguacate al 1% v/v logró un 85% de inhibición (Bosquez-Molina et al, 2010) reportaron que

los aceites esenciales de orégano y tomillo, aplicados, lograron una inhibición superior al 70%.

No obstante, en todos estos casos, los aceites utilizados eran aceites esenciales obtenidos a través de la hidrodestilación o fracciones que contenían una alta concentración de compuestos bioactivos. Esta diferencia con el aceite extra virgen de aguacate empleado en esta investigación es significativa; dicho aceite fue obtenido por medio del prensado en frío.

Para entender los resultados logrados, es crucial distinguir entre la hidrodestilación y el prensado en frío. El aceite que se extrae por prensado en frío conserva una alta cantidad de elementos no volátiles, como triglicéridos, vitaminas liposolubles y ácidos grasos de cadena larga (linoleico y oleico), los cuales se eliminan en la hidrodestilación, según lo demuestra (Li et al, 2021). Esta formulación con un alto contenido de lípidos es diferente a la de los aceites esenciales que se obtienen por destilación, los cuales contienen metabolitos secundarios volátiles, como fenoles y terpenos. Se trata de moléculas que tienen una gran capacidad de penetrar las membranas celulares fúngicas y provocar lisis celular directa (Nazzaro et al, 2017). Por lo tanto, el aceite prensado, al tener una alta concentración de ácidos grasos de cadena larga, no tiene la misma habilidad para penetrar y, en cambio, puede ser metabolizado como fuente de carbono por las lipasas extracelulares de especies C. gloeosporioides (Alkan et al, 2013; Gold et al, 2001).

El término hormesis se refiere a una reacción bifásica no lineal en la que las dosis subletales de un agente estresante estimulan procesos biológicos que son inhibidos con dosis más altas (Costantini, 2014). Este fenómeno es el que se observa en los tratamientos T (200),

T (300) y T (500 mg/L). Este fenómeno ha sido registrado en varias circunstancias experimentales y organismos; Calabrese y Blain determinaron que cerca del 60% de las investigaciones sobre toxicología presenta una reacción de estimulación a dosis bajas, la cual a menudo se ignora por la falta de puntos de medición o por un análisis estadístico deficiente. En el marco de los fitopatógenos, (Agathokleous et al, 2022) sostienen que la hormesis es una reacción adaptativa habitual en hongos que han sido expuestos a agentes de control; en este caso, el patógeno pone en marcha mecanismos de sobrecompensación metabólica frente al primer estrés químico, lo cual se manifiesta como un aumento acelerado del crecimiento con el fin de escapar.

En fitopatología experimental, (Flores & Garzon, 2013). Registraron este patrón de manera particular en hongos fitopatógenos analizados in vitro. Se detalló cómo dosis bajas de compuestos químicos u orgánicos provocan que el hongo responda con una sobrecompensación, lo que hace que su crecimiento sea más acelerado que el control para "escapar" o atenuar el estrés percibido. Este mecanismo se alinea con lo que se observó en el presente estudio, en el cual T (300 mg/L) llegó a 85.0 mm al final de la prueba, superando en 7.1 mm al Control negativo (77.9 mm). También indican que los aceites fijos y extractos botánicos pueden provocar una reacción de crecimiento acelerado en hongos fitopatógenos, lo cual es una manifestación de la plasticidad fenotípica del hongo frente a un entorno químicamente alterado.

Desde el punto de vista bioquímico, el "efecto nutricional" del aceite prensado sobre *C. gloeosporioides* a concentraciones bajas y moderadas se debe a que este hongo tiene una actividad elevada de lipasas extracelulares. *C. gloeosporioides* sintetiza lipasas que posibilitan la degradación de triglicéridos en el aceite y la obtención de carbono para su

metabolismo, como lo evidencian (Gold et al, 2001; Nazzaro et al, 2017) entendieron este descubrimiento al mostrar que el metabolismo de los lípidos es crucial para la patogenicidad de las especies de *Colletotrichum* y que estas especies están especialmente ajustadas para utilizar la parte lipídica del aguacate como fuente de energía, lo que justifica coherentemente por qué las concentraciones de 200, 300 y 500 mg/L funcionaron como suplemento nutricional en lugar de fungistático.

La inhibición moderada observada sólo en T (400 mg/L) (+21.6%) indica que, a esta concentración concreta, se llega a un umbral crítico en el que los compuestos bioactivos minoritarios del aceite, especialmente las acetogeninas del aguacate como la persina, empiezan a perturbar la membrana celular del hongo. Según (Kupnik et al, 2023), estos fitoquímicos de *P. americana* son inhibidores con actividad antimicrobiana demostrada. Asimismo, (Prusky et al, 2013). Reportaron que la acetogenina 1-acetoxi-2-hidroxi-4-oxo-heneicosa-12,15-dieno inhibe la formación del apresorio, la estructura que emplea el *Colletotrichum* para penetrar todo lo que es el tejido vegetal. Por lo tanto, la inhibición observada a 400 mg/L no se debe a la mayoría de los compuestos lipídicos (los triglicéridos), sino a la acumulación de estos elementos minoritarios por encima del umbral tóxico. La inhibición en T(500 mg/L) podría disminuir debido a la coalescencia del aceite en altas concentraciones que exceden la capacidad emulsificante de Tween 80 al 0,1%, lo que resulta en áreas sin protección en el agar donde el hongo se desarrolla libremente (Salazar-López et al, 2020).

Estos descubrimientos son importantes para guiar futuras investigaciones. Estudios recientes, como la de La Quatra et al, (2026). han demostrado que emplear aceites esenciales y extractos botánicos en forma de nanoemulsión ayuda a sobrepasar las restricciones

fisicoquímicas de los aceites tradicionales, lo cual potencia su capacidad inhibitoria contra especies del género *Colletotrichum* y su penetración en la pared celular. Esto señala que, mediante la optimización a escala nanométrica de la formulación del aceite de aguacate, sería posible aumentar significativamente la efectividad antifúngica de las concentraciones analizadas aquí. Por otro lado, investigaciones como la de Villarreal-Lara et al, (2019). indican que la concentración y aislamiento de las sustancias bioactivas minoritarias del aguacate, como los fenoles y acetogeninas, en extractos enriquecidos sin la matriz predominante de triglicéridos, produce un efecto biocontrolador más fuerte y directo sobre las estructuras de resistencia de los hongos fitopatógenos.

CAPÍTULO VII

7. Conclusión

- El aceite extra virgen de aguacate (*P. americana* cv. Hass) no presentó eficacia antifúngica relevante sobre *C. gloeosporioides* bajo condiciones *in vitro*. Evidenciando el efecto hormesis atribuido a la metabolización de los triglicéridos del aceite como fuente de carbono por parte del patógeno.
- La concentración de 400 mg/L fue la única con efecto inhibitorio. En consecuencia, este tratamiento evidenció el mayor potencial antifúngico dentro de las concentraciones evaluadas, destacándose como la respuesta más prometedora del aceite.
- Los resultados indican que el potencial biocontrolador de *P. americana* no está en el aceite prensado en frío en sí, sino en sus compuestos bioactivos minoritarios, especialmente acetogeninas como la persina, cuya acción puede verse reducida por la matriz lipídica predominante. Además, este método conserva ácidos grasos de cadena larga y no concentra metabolitos volátiles antifúngicos, lo que explica la baja inhibición observada sobre *C. gloeosporioides*.

CAPÍTULO VIII

8. Referencias

Agathokleous, E., Calabrese, EJ, & Barceló, D. (2024). Environmental hormesis: New developments. Science of the Total Environment, 906, 167450.

Agreda Agreda, A. I. (2016). Caracterización fenotípica y genotípica de Colletotrichum spp. Agente causal de la antracnosis en mora de castilla (Rubus glaucus Benth).

Alkan, N., Meng, X., Friedlander, G., Reuveni, E., Sukno, S., Sherman, A., ... & Prusky, D. (2013). Global aspects of pacC regulation of pathogenicity genes in *C. gloeosporioides* as revealed by transcriptome analysis. Molecular Plant-Microbe I.

Altieri, M. A. (2018). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. .

Ambiental. (2017). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1326 de 2017. Diario Oficial de la República de Colombia. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co

Ambiental. (2017). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1326 de 2017. Diario Oficial de la República de Colombia.* Obtenido de https://www.minambiente.gov.co

Arancibia-Avila, P., Namiesnik, J., Toledo, F., Werner, E., Martinez-Ayala, A. L., Rocha-Guzmán, N. E., ... & Gorinstein, S. (2012). La influencia de diferentes duraciones de procesamiento térmico en la calidad de las bayas. Food Control , 26 (2), 587-593.

Arauz, L. y. (1983). Evaluación preliminar de los problemas postcosecha en seis frutas tropicales de Costa Rica.

Augello, S. C. (2024). The antifungal potential of ozonated extra-virgin olive oil against Candida albicans: Mechanisms and efficacy. Biomolecules, 14(11), 1472.

Augello, S., Cameli, V., Montanari, A., Tacconi, S., Uccelletti, D., Dini, L., & Schifano, E. (2024). The antifungal potential of ozonated extra-virgin olive oil against Candida albicans: Mechanisms and efficacy. Biomolecules, 14(11), 1472.

Barriga, S. Á., & Gutkowski, K. (2024). El panorama de los sistemas agroalimentarios latinoamericanos, una revisión desde la propuesta de sostenibilidad FAO (2015). Investigaciones Geográficas: Una mirada desde el sur, (67), 28-40.

Belgaid, A., Benaji, B., Aadil, N., Moussamih, S., Khayati, Y., Benchekroune, M. T., & El Guezzar, M. (2014). Sterilisation of aseptic drug by sterile filtration: Microbiology validation by microbiology challenge test. J. Chem. Pharm. Res, 6(12), 760-77.

Binyamini, N. &.-N. (1972). Latent infection in avocado fruit due to *C. gloeosporioides*. Phytopathology.

Bogantes-Arias, A., & Mora-Newcomer, E. (2013). Incidencia y severidad de la antracnosis en líneas e híbridos de papaya (*Carica papaya*). agronomía mesoamericana, 24(2), 411-417.

Bosquez-Molina, E., Ronquillo-de Jesús, E., Bautista-Baños, S., Verde-Calvo, J. R., & Morales-López, J. (2010). Inhibitory effect of essential oils against *C. gloeosporioides* and Rhizopus stolonifer in stored papaya fruit and their possible ap.

Cannon, P. F. (2012). Colletotrichum: current status and future directions. Studies in mycology, 73(1), 181-213.

Cannon, P. F., Damm, U., Johnston, P. R., & Weir, B. S. (2012). Colletotrichum: current status and future directions. Studies in mycology, 73(1), 181-213.

Chan-Cupul, W. R.-J.-R.-N.-S. (2024). Chan-Cupul, W., Ruelas-Jurado, J., Sánchez-Rangel, J. C., Buenrostro-Nava, M. T., & Manzo-Sánchez, G. (2024). Efficacy of chemical fungicides against the anthracnose disease caused by *C. gloeosporioides* in *Carica papaya* fruits. Agro Producti.

Chan-Cupul, W., Ruelas-Jurado, J., Sánchez-Rangel, JC, Buenrostro-Nava, MT y Manzo-Sánchez, G. (2024). Eficacia de fungicidas químicos contra la enfermedad de antracnosis causada por *C. gloeosporioides* en frutos de *Carica papaya*. Agro Producti.

Chau, C. y. (1983). Estudio histológico de la antracnosis en Carica papaya. Fitopatología.

Costantini, D. (2014). Estrés oxidativo y hormesis en ecología y fisiología evolutivas. Un matrimonio entre enfoques mecanicistas y evolutivos , 362 .

De Silva, D. C. (2017). Estilos de vida de especies de Colletotrichum e implicaciones para la bioseguridad vegetal. Fungal biology reviews , 31 (3), 155-168.

De Silva, DD, Crous, PW, Ades, PK, Hyde, KD y Taylor, PW. (2017). Estilos de vida de especies de Colletotrichum e implicaciones para la bioseguridad vegetal. Fungal biology reviews , 31 (3), 155-168.

Donoso, C., Raluca, M. A., Chávez-Jinez, S., & Vera, E. (2024). Hass Avocado (*P. americana Mill*) Peel Extract Reveals Antimicrobial and Antioxidant Properties against Verticillium theobromae, Colletotrichum musae, and Aspergillus niger Pathogens Affec.

Dreher, M. L. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. Critical reviews in food science and nutrition, 53(7), 738-750.

Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. Critical reviews in food science and nutrition, 53(7), 738-750.

FAO. (2017). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Aprovechar los sistemas alimentarios para un futuro sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2025). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Abordar la degradación de las tierras en todas las escalas de tenencia. Organización de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura. Obtenido de https://www.fao.org/publications/fao-flagship-publications/the-state-of-food-and-agriculture/es

FAO. (2014). Efectos económicos de las plagas y enfermedades transfronterizas.

Flores, F. J., & Garzon, C. D. (2013). Detection and assessment of chemical hormesis on the radial growth in vitro of oomycetes and fungal plant pathogens. Dose-Response, 11(3), dose-response.

Ford, N. A. (2023). Nutritional composition of Hass avocado pulp. Foods, 12(13), 2516.

García, C. V. (2004). Introduction to microbiology. Introducción a la Microbiología. Segunda edición. Editorial EUNED. Costa Rica, 103-107.

Gold, S. E., García-Pedrajas, M. D., & Martínez-Espinoza, A. D. (2001). New (and used) approaches to the study of fungal pathogenicity. Annual review of phytopathology, 39(1), 337-365.

Guevara-Agudelo, E. J. (2022). Manejo fitosanitario: plagas del cultivo de maíz [Hoja informativa]. AGROSAVIA / FAO. Obtenido de https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37676

Guevara-Agudelo, E. J. (2022). Manejo fitosanitario: plagas del cultivo de maíz [Hoja informativa]. AGROSAVIA / FAO. Obtenido de https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37676

Hahn, M. W. (2004). Broad diversity of viable bacteria in ‘sterile’(0.2 µm) filtered water. Research in Microbiology, 155(8), 688-691.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.

Herrera, A. (2018). Manejo integrado de plagas de importancia económica del cultivo de maíz. . Obtenido de https://www.intagri.com/articulos/cereales/manejo-integrado-de-plagas-de-importancia-economica-del-cultivo-de-maiz?utm_source

ICA. (2021). Manual técnico del cultivo de maíz en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Obtenido de https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/produccion-agricola/maiz

Juárez-Becerra, G. P., Sosa-Morales, M. E., & López-Malo, A. (2010). Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 4(2), 14-23.

Kim, K. O. (1999). Interacciones diferenciales de un aislado de *C. gloeosporioides* con frutos de pimiento verde y rojo. Phytoparasitica , 27 (2), 97-106.

Kim, K. O. (1999). Interacciones diferenciales de un aislado de *C. gloeosporioides* con frutos de pimiento verde y rojo. Phytoparasitica , 27 (2), 97-106.

Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., & Zambiazi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by diffe.

Krumreich, F. D.-A. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. Food Chemistry, 257, 376–381. .

Kupnik, K., Primožič, M., Kokol, V., Knez, Ž., & Leitgeb, M. (2023). Enzymatic, antioxidant, and antimicrobial activities of bioactive compounds from avocado (*P. americana*) seeds. Plants, 12(5), 1201.

LA FAO, U. C. (1990). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de. Obtenido de https://www. fao. org/fileadmin/user_upload/Employment/docs/Recruitment_brochure_fin al_Spanish2. pdf.

La Quatra, G., Sánchez-Pereira, L., Gusella, G., Martino, I., Agustí-Brisach, C., Vitale, A., Aiello, D., & Polizzi, G. (2026). Essential oil-based nanoemulsions as sustainable control method against *C. gloeosporioides* and Neofusicoccum parvum.

Landero-Valenzuela, N., Lara-Viveros, F. M., Andrade-Hoyos, P., Aguilar-Pérez, L. A., & Aguado Rodríguez, G. J. (2016). Alternativas para el control de Colletotrichum spp. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(5), 1189-1198.

Latunde-Dada, A. (2001). Colletotrichum: historias de entrada forzada, sigilo, confinamiento transitorio y fuga. Molecular plant pathology , 2 (4), 187-198.

Li, G., Xiang, S., Pan, Y., Long, X., Cheng, Y., Han, L., & Zhao, X. (2021). Effects of cold-pressing and hydrodistillation on the active non-volatile components in lemon essential oil and the effects of the resulting oils on aging-related oxidative stres.

Lucas, J. A., Hawkins, N. J., & Fraaije, B. A. (2015). The evolution of fungicide resistance. Advances in applied microbiology, 90, 29-92.

MacKenzie, S. J., Mertely, J. C., & Peres, N. A. (2009). Curative and protectant activity of fungicides for control of crown rot of strawberry caused by *C. gloeosporioides*. Plant Disease, 93(8), 815–820.

MacKenzie, S. M. (2009). Actividad curativa y protectora de fungicidas para el control de la pudrición de la corona de la fresa causada por *C. gloeosporioides*. Plant Disease , 93 (8), 815-820.

Marín-Ramírez, G., & Ferrucho, R. L. (2025). Recomendaciones para el uso de fungicidas en el manejo integrado de enfermedades en el cultivo del café. Avances Técnicos Cenicafé, 1-8.

Marulanda, M. L. (2007). Identificación de la especie de Colletotrichum responsable de la antracnosis en la mora de castilla en la región cafetera. Scientia et technica.

Méndez Zúñiga, S. M., Campos Rojas, E., Corrales García, J. E., García Mateos, M. D. R., & Ybarra Moncada, M. C. . (2015). Extractos de aguacate criollo para inhibir el desarrollo de hongos fitopatógenos.

Nascimento, APS, Duarte, MEM, Rocha, APT y Barros, AN . (2025). Compuestos bioactivos, avances tecnológicos y aplicaciones sostenibles del aguacate (*P. americana* Mill): una revisión crítica. Foods , 14 (15), 2746. .

Nasri, N., Satria, D., Kaban, V. E., Tania, C. G., Syahputra, H. D., & Rani, Z. (2024). Antibacterial Potential of Ethanolic Extract of Avocado Leaves (*P. americana* Mill) against Clinical Isolate of Klebsiella pneumoniae and Proteus mirabilis. Trends.

Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., & De Feo, V. (2017). Essential oils and antifungal activity. Pharmaceuticals, 10(4), 86.

Nicholls, C. I. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. Cuadernos de Investigación UNED, 11(1), 55-61.

Novoa Barahona, E. O. (2024). Manejo integrado de la Antracnosis (Colletotrichum gloesporohles) en el cultivo de aguacate (*P. americana*) (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024).

Ozdemir, F. &. (2004). Cambios en la materia seca, el contenido de aceite y la composición de ácidos grasos del aguacate durante el tiempo de cosecha y el período de maduración posterior a la cosecha. Food Chemistry , 86 (1), 79-83.

Ozdemir, F. &. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Food Chemistry, 86(1), 79-83.

Ozdemir, F. &. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado. Food Chemistry, 86(1), 79–83. .

Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004). Cambios en la materia seca, el contenido de aceite y la composición de ácidos grasos del aguacate durante el tiempo de cosecha y el período de maduración posterior a la cosecha. Food Chemistry , 86 (1), 79-83.

Peralta-Ruiz, Y., Rossi, C., Grande-Tovar, C. D., & Chaves-López, C. (2023). Green management of postharvest anthracnose caused by *C. gloeosporioides*. Journal of fungi, 9(6), 623.

Prusky, D., Alkan, N., Mengiste, T., & Fluhr, R. (2013). Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. Annual review of phytopathology, 51(1), 155-176.

Quintero-Mercado, A. F., Garcia-Peña, J. C., Botero-Ramirez, A., Garcia, C., & Ramírez-Gil, J. G. (2025). An approach to the meso-scale epidemiological behavior of Plasmodiophora brassicae from cruciferous crops under tropical conditions; Supplementary ma.

Ramos-Aguilar, AL, Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, LM, Gardea-Bejar, AA, Yahia, EM, Ornelas-Paz, J. de J., Pérez-Martínez, JD, Ríos-Velasco, C., & Escalante-Minakata, P. (2021). Análisis metabolómico y atributos físicos de frutos maduros de aguacate crioll.

Rivera, G. (1991). Descripción y combate de las principales enfermedades de papaya. Fruticultura especial fascículo.

Rodríguez Velásquez, G. M. (2022). Incidencia de las principales enfermedades que se presentan en el cultivo de papaya (*Carica papaya*), en el Ecuador (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).

Rodríguez, AT, Dávila, JFR, Siclán, MLS, Vildózola, Á. C., Zamora, FIM, & Díaz, AVL. (2020). Distribución espacial de antracnosis (*C. gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. Revista argentina de microbiología , 52 (1),.

Rodríguez, D. (2022). Principales problemas fitosanitarios causados por hongos y similares en la Agricultura Venezolana. Revista de la Facultad de Agronomía, 161-161.

Rodríguez-López, E. S.-P.-P. (2009). La infección de *C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en aguacatero (*P. americana*).

Rojas González, S., Pesca Moreno, A., Tarazona Yanes, M., Calderón Medina, C. L., & Zapata Arango, P. C. (2019). CACAO Agricultura climáticamente inteligente con énfasis en agroforestería: Experiencias en el Ariari, Meta, Colombia. Corporación colombia.

Saborío, D., Sáenz, V., Arauz, L. F., & Bertsch, F. (2000). Efecto del calcio en aplicaciones precosecha y poscosecha sobre la severidad de antracnosis (*C.gloeosporioides*) y la calidad de frutos de papaya (*Carica papaya*). Agronomía Costarrice.

Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. Food Research Intern.

Saldarriaga Cardona, A. C. (2008). Caracterización del agente causante de la antracnosis en tomate de árbol, manzano y mora.

Schroeder, C. (1969). Hoja fósil de aguacate. Calif. Avocado Soc. Yrbk , 1969 , 59-60.

Selwyn, N. (2021). Educación y tecnología: Cuestiones y debates clave . Bloomsbury Publishing.

Sinclair, J. B., & Dhingra, O. D. (2017). Basic plant pathology methods. CRC press.

Spiteller, P. S. (2000). Metalaxyl: persistence, degradation, metabolism, and analytical methods. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 164, 187, 1-26.

Spiteller, P. S. (2000). Metalaxyl: persistence, degradation, metabolism, and analytical methods. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 164, 187, 1-26.

Torres Arroyo, E. L., Gracia Herrera, L., Thorrens Romero, E., & Villegas Gracia, R. (2022). Manual de introducción a la microbiología.

Trigos, Á., Ramírez, K., & Salinas, A. (2008). Presencia de hongos fitopatógenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. Revista mexicana de micología, 28(SPE), 125-129.

Urbina, C. (2011). Enfermedades causadas por hongos. Fitopatología General. Universidad Agropecuaria del Trópico Seco. Estelli, 2p.

Vecchio, L., Martino, I., Guarnaccia, V., Polizzi, G. y Aiello, D. (2026). Colletotrichum perseae y *C. gloeosporioides* en sentido estricto causan lesión del tallo y muerte regresiva del aguacate en Italia. Horticulturae , 12 (1), 111.

Vela-Corcía, D., Romero, D., de Vicente, A., & Pérez-García, A. (2018). Analysis of β-tubulin-carbendazim interaction reveals that binding site for MBC fungicides does not include residues involved in fungicide resistance. Scientific Reports, 8(1), 7161.

Velasco Belalcazar, M. L. (2016). Caracterización de bacterias antagónicas a Fusarium sp, asociadas a Capsicum frutescens en Guacarí y Bolivar, Valle del Cauca.

Verhoeff, K. (1974). Infecciones latentes por hongos. Revista Anual de Fitopatología.

Villanueva-Arce, R., Yáñez-Morales, M. J., & Ochoa-Martínez, D. L. (2022). Novel Harzia ixtarensis fungus on Annona cherimola fruit in Mexico and its synergistic relationship with Colletotrichum fragariae. Plant Disease, 106(5), 1406-1413.

Villarreal-Lara, R., Acosta-Cruz, E., Saavedra-Leos, Z., Hernández-Brenes, C., & Benavides, J. (2019). Chemical profile and safety assessment of a food-grade acetogenin-enriched antimicrobial extract from avocado seed. Molecules, 24(13), 2354.

Villota-Burbano, J. E., & Vazquez-Ochoa, O. Y. (2021). Evaluación in vitro del extracto etanólico de hojas de borraja (Borago officinalis) contra la actividad fungistática. Agronomía Costarricense, 45(2), 9-27.

Walia, A. M. (2014). Impact of fungicide mancozeb at different application rates on soil microbial populations, soil biological processes, and enzyme activities in soil. The Scientific World Journal, 2.

Walia, A., Mehta, P., Guleria, S., Chauhan, A., & Shirkot, C. K. (2014). Impact of fungicide mancozeb at different application rates on soil microbial populations, soil biological processes, and enzyme activities in soil. The Scientific World Journal, 2.

Wang, W. B. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. Food chemistry, 122(4), 1193-1198.

Wang, W., Bostic, TR y Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. Food chemistry, 122(4), 1193-1198.

Wang, W., Bostic, TR y Gu, L. (2010). Capacidades antioxidantes, procianidinas y pigmentos en aguacates de diferentes cepas y cultivares. Química de los alimentos , 122 (4), 1193-1198.

Zubrod, J. P., Bundschuh, M., Arts, G., Brühl, C. A., Imfeld, G., Knäbel, A., ... & Schäfer, R. B. (2019). Fungicides: an overlooked pesticide class?. Environmental science & technology, 53(7), 3347-3365.

zuluaga, J., & Castro, P. (2019). Semilleros de investigación: estrategias para el fortalecimiento de la formación investigativa universitaria.

Anexos

Anexo 1. *Datos totales del Crecimiento micelial total de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento.*

Caja N°/ repetición	Crcimiento Micelial T (200)	Crcimiento Micelial T (300)	Crcimiento Micelial T (400)	Crcimiento Micelial T (500)	Crcimiento Micelial Control (+)	Crcimiento Micelial Control (-)
1	95	89,30	53,9	59,05	13,8	89,45
2	57,5	71,55	52,7	80,95	14,6	83,7
3	95	95,00	56,6	75,40	13,3	74,9
4	61,95	84,75	57,25	95,00	13,25	77,4
5	75,5	72,50	53,15	75,70	14,3	52,8
6	95	95,00	70,5	77,10	12,1	64,7
7	71,4	95,00	49,35	88,45	14,25	92,5
8	85,1	76,55	95	77,90	13,25	87,85
Promedio	79,6	85,0	61,1	78,7	13,6	77,9

Anexo 2.*% de inhibición del crecimiento micelial de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento.*

Caja N°/ repetición	%PICR T(200)	%PICR T(300)	%PICR T(400)	%PICR T(500)	%PICR Control (+)
1	-22,0	-14,6	30,8	24,2	82,3
2	26,2	8,2	32,3	-3,9	81,3
3	-22,0	-22,0	27,3	3,2	82,9
4	20,5	-8,8	26,5	-22,0	83,0
5	3,1	6,9	31,8	2,8	81,6
6	-22,0	-22,0	9,5	1,0	84,5
7	8,3	-22,0	36,6	-13,5	81,7

8	-9,2	1,7	-22,0	0,0	83,0
Promedio	**-2,1**	**-9,1**	**21,6**	**-1,0**	**82,5**
Clasificación de la actividad Antifungica	Insignificante / Sin actividad	Insignificante / Sin actividad	Actividad Moderada	Insignificante / Sin actividad	Actividad Fuerte

Anexo 3.*Tasa de crecimiento Micelial de cada tratamiento al pasar 12 días de experimento.*

Caja N°/ repetición	Tasa Crecimiento Micelial T (200)	Tasa Crecimiento Micelial T (300)	Tasa Crecimiento Micelial T (400)	Tasa Crecimiento Micelial T (500)	Tasa Crecimiento Micelial Control (+)	Tasa Crecimiento Micelial Control (-)
1	7,5	7,0	4,1	4,5	0,7	7,0
2	4,4	5,5	4,0	6,3	0,8	6,6
3	7,5	7,5	4,3	5,9	0,7	5,8
4	4,7	6,6	4,4	7,5	0,7	6,0
5	5,9	5,6	4,0	5,9	0,8	4,0
6	7,5	7,5	5,5	6,0	0,6	5,0
7	5,5	7,5	3,7	7,0	0,8	7,3
8	6,7	6,0	7,5	6,1	0,7	6,9
Promedio	6,2	6,7	4,7	6,1	0,7	6,1

Anexo 4. *Resumen de pruebas de normalidad de los datos obtenidos de porcentaje de inhibición en cada uno de los tratamientos.*

Tratamiento/ Variable	%PICR T(200)	%PICR T(300)	%PICR T(400)	%PICR T(500)	%PICR Control (+)
N	8	8	8	8	8
Shapiro-Wilk W	0,8799	0,8465	0,7287	0,9297	0,92
p(normal)	0,1878	0,08781	0,004733	0,5129	0,4299

Anderson-Darling A	0,4038	0,5069	1,003	0,3925	0,3372
p(normal)	0,2672	0,1377	0,005803	0,2867	0,4021
p(Monte Carlo)	0,2859	0,145	0,0051	0,3047	0,4306
Lilliefors L	0,2197	0,2131	0,3497	0,2522	0,2033
p(normal)	0,3032	0,3489	0,004864	0,1374	0,422
p(Monte Carlo)	0,3117	0,3502	0,0049	0,1439	0,4226
Jarque-Bera JB	0,7854	0,9457	4,109	0,1287	0,5503
p(normal)	0,6752	0,6232	0,1281	0,9377	0,7595
p(Monte Carlo)	0,3508	0,228	0,0109	0,9516	0,6043