

FUNGICIDA A BASE DE LA SEMILLA DE AGUACATE

ANGIE VALENTINA BELTRÁN TIGUAQUE

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERA AMBIENTAL**

Director

Adriana Suesca Díaz

Ingeniera química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Firma del director

Jurado

Firma del jurado

Jurado 2

Firma del jurado

Fecha: Enero 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Ingeniería Química y Ambiental

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a quienes siempre me han apoyado y han estado junto a mí a lo largo de este proceso. Principalmente a mis padres Angela Johanna y Javier Orlando que con su amor y constancia me han ayudado para cumplir mis metas; por ustedes llegue hasta aquí, a Luna que fue mi compañera fiel y que hace unos meses se marchó también darle las gracias porque siempre estuvo conmigo desde el inicio y brindarme su amor incondicional. Adicionalmente también quiero agradecerle a Yeto que llegó a brindarme su amor y compañía fiel durante este último proceso.

Dedico también el resultado y esfuerzo de este proyecto, a mi familia que me acompañó a lo largo de este camino demostrándome que todo se puede lograr con disciplina y esfuerzo.

Finalmente, pero no menos importante agradezco a la universidad por guiarme en este proyecto, ya que con sus conocimientos y su trabajo pude llevar a cabo esta investigación.

AGRADECIMENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme llegar hasta este punto para poder desarrollar este proyecto y por guiarme en cada decisión que tome. Agradezco a mi familia por brindarme su apoyo en todo momento y por acompañarme en todo momento, sobre todo a mis padres ya que sin ellos no hubiera podido llegar hasta aquí ya que me han dado todos los medios posibles para adquirir el conocimiento necesario. Especialmente, quiero agradecer la docente Adriana Suesca Díaz, que me guio y me aconsejo desde el primer momento para el desarrollo. Finalmente, agradezco a la Universidad de América que me acogió desde el principio y me hizo pasar experiencias increíbles y por brindarme su apoyo durante estos 4 años.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
1. GENERALIDADES	16
1.1. Cultivo de lulo	16
<i>1.1.1. Generalidades del cultivo de lulo</i>	<i>17</i>
<i>1.1.2. Enfermedades del cultivo de lulo</i>	<i>18</i>
<i>1.1.3. Fungicidas comerciales</i>	<i>20</i>
1.2. Hongos filamentosos	23
<i>1.2.1. Generalidades de los hongos filamentosos</i>	<i>25</i>
<i>1.2.2. Descripción del género fusarium</i>	<i>27</i>
1.3. Cultivo de aguacate	29
<i>1.3.1. Generalidades del aguacate</i>	<i>30</i>
<i>1.3.2. Residuos de aguacate</i>	<i>33</i>
<i>1.3.3. Propiedades físico-químicas de la semilla de aguacate</i>	<i>35</i>
1.4. Biofungicidas	36
<i>1.4.1. Tipos de biofungicidas</i>	<i>37</i>
<i>1.4.2. Compuestos poli fenólicos con actividad fungicida</i>	<i>39</i>
<i>1.4.3. Métodos de extracción de polifenoles de matrices biológicas</i>	<i>41</i>
<i>1.4.4. Evaluación in vitro de las actividades fungicidas del extracto</i>	<i>42</i>
<i>1.4.5. Proceso de producción de biofungicidas</i>	<i>43</i>
1.5. Marco legal	44
2. OBTENCIÓN DEL EXTRACTO SEMILLA DE AGUACATE	49
2.1. Recolección de semillas	49
3. CARACTERIZAR EL CONTENIDO DE POLIFENOLES	58
4. EVALUAR EL FUNGICIDA POR MEDIO DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EVALUAR SU EFECTIVIDAD	62
5. ANALISIS DE RESULTADOS	70

6. CONCLUSIONES

79

REFERENCIAS

82

LISTA DE FIGURA

	pág
Figura 1. <i>Fungicidas comerciales y sus usos</i>	22
Figura 2. <i>Sustancias prohibidas para uso de plaguicidas</i>	46
Figura 3. <i>Marco regulatorio para el registro de bioplaguicida en Colombia</i>	47
Figura 4. <i>Aguacate maduro apto para hacer la recolección de semillas</i>	49
Figura 5. <i>Vasos de precipitado con la semilla macerada en el laboratorio</i>	50
Figura 6. <i>Vasos de precipitado con solventes y semilla macerada</i>	51
Figura 7. <i>Vasos precipitados con solventes previamente filtradas</i>	52
Figura 8. <i>Rota vapor a 50° con muestra de etanol y agua</i>	53
Figura 9. <i>Vasos de precipitado con sustancia sin etanol</i>	54
Figura 10. <i>Extracto obtenido (Rota vapor)</i>	54
Figura 11. <i>Vasos de precipitado con etanol, agua y semilla de aguacate</i>	56
Figura 12. <i>Vaso de precipitado de 600mL etanol y 400 mL agua</i>	56
Figura 13. <i>Muestra previamente filtrada en balones de 500 mL</i>	57
Figura 14. <i>Distintas soluciones en gradilla con micropipeta</i>	58
Figura 15. <i>Curva de calibración</i>	60
Figura 16. <i>Número de muestra y las distintas concentraciones</i>	64
Figura 17. <i>Crecimiento del hongo durante 7 días</i>	66
Figura 18. <i>Hongo Fusarium Oxysporum</i>	72

LISTA DE ABREVIATURAS

CG-EM: Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas

COP: Conferencia de las Partes

DDT: Diclorodifeniltricloroetano

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PDA: Agar papa dextrosa

PFA: Perfluoroalcoxi

TMTD: Tetramethylthiuram disulfide / Tetrametiltiuram Disulfuro

RESUMEN

Este proyecto de investigación se centra en la extracción de sustancias de las semillas de aguacate *Hass* (*Persea Americana*). En la elección de las semillas se tuvo en cuenta la madurez del fruto y se buscó determinar la presencia de polifenoles. La fruta, ampliamente cultivada en Colombia, ofrece una importante oportunidad de valoración porque sus residuos de semillas representan entre el 15 y el 18 por ciento de la fruta.

Para realizar este estudio se propuso un diseño metodológico experimental aplicando un método de extracción y un solvente apropiado junto con pruebas de laboratorio. Se eligió como método la extracción en frío, donde se utilizó agua destilada y etanol al 90% como disolventes. El extracto resultante fue positivo para la concentración final después de pasar por el rotavapor.

Se prepararon diferentes concentraciones del extracto puro, las cuales mostraron una inhibición significativa de *Fusarium oxysporum* durante los 7 días del experimento. Además, se detectaron polifenoles en la muestra obtenida con un valor de aproximadamente 0,993 g/L, que es inferior a la absorbancia de 1500 utilizada como valor de referencia. Finalmente, en el grupo de control donde no se utilizó ningún extracto, el hongo Cosechado dos semanas creció antes de lo esperado. En 7 días, *Fusarium oxysporum* creció 7 cm en la caja de control y 7,5 cm en las cajas de Petri, manteniendo su característico color morado.

Este proyecto no sólo se centra en la extracción y utilización del extracto, sino que también enfatiza su importancia desde la ingeniería ambiental. La valorización de residuos de aguacate contribuye al manejo sustentable de los recursos agrícolas y es una alternativa amigable con el medio ambiente para combatir patógenos de cultivos, reduciendo la dependencia de pesticidas químicos. La inhibición de *Fusarium oxysporum* y los signos de bajas concentraciones de polifenoles resaltan la utilidad de este método como una alternativa eficaz y respetuosa con el medio ambiente para el control de enfermedades de los cultivos.

PALABRAS CLAVE: Extracción, Polifenoles, Biofungicida, Rota Vapor, Espectrofotómetro, *Fusarium oxysporum*.

INTRODUCCIÓN

El hongo *Fusarium oxysporum* ataca la planta y una vez se introduce en su sistema vascular se desencadena un colapso en el mecanismo de transporte de agua y nutrientes, afectando la fotosíntesis, que es la vida misma de la planta [1]. El ciclo de vida del *Fusarium oxysporum* es similar al de la mayoría de las especies de *Fusarium*. El *Fusarium* inverna durante varios años en el suelo y en residuos de plantas infectadas, a modo de clamidosporas (células del micelio de paredes gruesas) o de micelio. La supervivencia también es posible en semillas, estructuras del invernadero, herramientas y máquinas [2].

La familia Solanaceae es considerada la tercera taxa botánico más importante a nivel agronómico, hecho que ha generado que mundialmente se invierta un gran esfuerzo en estudiar la biología, ecología y diversidad de hábitats de muchas de sus especies. En Colombia, las especies más cultivadas son comúnmente atacadas por patógenos que limitan la producción y la calidad final del producto. El presente documento expone la recopilación de los estudios publicados realizados en Colombia, referentes a las enfermedades causadas por tres de los patógenos más importantes que afectan la familia Solanaceae: *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* [3].

Colombia que exporta casi 600 variedades de aguacate de diferentes regiones del país, siendo una de las más conocidas el aguacate *hass* siendo una de las características más importantes de estos la semilla de aguacate, que pueden representar casi una quinta parte de la masa de la fruta, son un subproducto de la industria alimentaria que se deja en las fábricas que producen guacamole, aguacates congelados, aceite de aguacate y otros productos, su extracción de perfluoroalcoxi dadas sus siglas PFA es un proceso limpio y sin desperdicios, cuyos residuos pueden ser utilizados como alimento para animales por sus altos valores nutricionales. Su destrucción requiere un tratamiento controlado porque en el proceso de su descomposición orgánica se libera una sustancia activa que contamina el suelo [4].

Según “Aprovechamiento de la semilla de aguacate como un colorante natural y del aceite de mesocarpios residuales de la variedad *Hass* como componentes funcionales en un jabón

líquido” la cadena agroindustrial del aguacate genera residuos con un gran potencial de aprovechamiento, las semillas por su capacidad colorante y los mesocarpios no aptos para comercialización que contienen un contenido de ácidos grasos insaturados, estos coproductos tienen un alto valor biológico los cuales pueden ser usados para la creación de nuevos productos. En este orden de ideas, se busca brindar alternativas al uso de los residuos generados en el procesamiento de aguacate, en cuanto a semilla y mesocarpio o pulpa [5].

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar un bioplaguicida a partir de residuos provenientes de la semilla de aguacate para el control de un hongo seleccionado que ataca cultivos de lulo, especie solanácea.

Objetivos Específicos

1. Extraer el extracto de semilla de aguacate *Hass* para su uso como fungicida.
2. Caracterizar el contenido de polifenoles en el extracto de la semilla de aguacate *Hass*.
3. Evaluar el fungicida por medio de pruebas en laboratorio para determinar su efectividad.

1. GENERALIDADES

1.1. Cultivo de lulo

La constante demanda del fruto de lulo en los mercados nacionales ha generado en el país un fuerte proceso de expansión del cultivo, pero la alteración en las condiciones climáticas a causa de la reciente ola invernal amenaza gravemente los cultivos establecidos. El lulo es un arbusto originario de los Andes del Ecuador y Colombia, produce frutos de pulpa verde, que por su color, sabor y valor nutritivo son muy apetecidos en los mercados nacionales y extranjeros. Su nombre científico es *Solanum quitoense Lam*, perteneciente a la familia de las solanáceas [6].

En Colombia para el año 2013 la producción total fue de 68.596,8 toneladas de lulo, siendo Huila el principal departamento productor con 13.668,8 ton, seguido por el Valle del Cauca con 9.835,3 ton, Antioquia con 6.534, Tolima con 4.739,5 y Santander con 4.551,6 ton. El lulo se encuentra en altitudes desde 1.500 hasta los 3.000 msnm; sin embargo, su desarrollo óptimo se da entre los 2.000 y los 2.200 msnm. Las temperaturas adecuadas para el desarrollo del cultivo oscilan entre los 16 y 24°C, con humedad relativa del 80% o incluso más, y precipitaciones entre 1.500 y 2.000 mm/año [2]. Requiere de brillo solar de 4 a 6 horas diarias, pendiente menor del 40% y suelos, con; textura Franca – F, Franco arenosa – FA o Franco Arcillosa – FAr, moderadamente profundos de 50 a 75 centímetros, bien drenados y ligeramente ácidos con pH de 5,5 a 6,5 [7].

El cultivo de lulo ha mostrado una amplia adaptación a diferentes altitudes, y en Colombia se encuentra desde los 1600 y hasta los 3000 msnm, su desarrollo óptimo se da entre los 1900 y los 2200 msnm. Hasta el momento se han identificado aproximadamente entre 11 y 13 variedades de esta especie, de las cuales 8 se encuentran actualmente en Colombia y la más cultivadas llevan el nombre de “lulo de castilla”. Se pueden encontrar dos variedades botánicas del fruto: *solanum quitoense var. Septentrionae* (espinas, adaptado a sotobosque) y *solanum quitoense var. quitoense* (Sin espinas adaptado a mayor exposición solar). También se encuentra una variedad con espinas de tamaño intermedio que se cultiva en Chipaque, Cundinamarca, Colombia (Ramírez, 2021). Los frutos del lulo se

caracterizan por tener excelentes propiedades organolépticas y además son fuente importante de vitaminas y minerales. Estos se pueden consumir de muchas formas, ya sea en fresco o en conservados como: jugos, jaleas, salsas, mermeladas, tortas, helados, yogur y como ingrediente de ensaladas de frutas. El comportamiento y calidad de los frutos depende tanto de las condiciones ambientales como de la variedad [8].

1.1.1. Generalidades del cultivo de lulo

El cultivo de lulo, cuyo nombre científico es *Solanum quitoense*, es una actividad agrícola que se lleva a cabo en diversas regiones tropicales y subtropicales de América Latina. El lulo es una fruta perteneciente a la familia de las solanáceas y es conocida por su sabor agridulce y refrescante [9]:

- **Clima y suelo:** El lulo se adapta bien a climas cálidos y húmedos. Se cultiva a altitudes que varían desde el nivel del mar hasta unos 2,000 metros. El suelo ideal para el cultivo de lulo es un suelo fértil, bien drenado y ligeramente ácido [10].
- **Variedades:** Existen varias variedades de lulo, siendo las más comunes la variedad "Típica". Cada variedad puede tener características ligeramente diferentes en términos de sabor, tamaño y resistencia a enfermedades [11].
- **Propagación:** El lulo se propaga generalmente a partir de semillas. Las semillas se extraen de la fruta madura y se siembran en almácigos. Una vez que las plántulas tienen un tamaño adecuado, se trasplantan al campo [12].
- **Plantación:** El espaciado entre las plantas y las filas depende del tipo de variedad y de las condiciones locales, pero suele oscilar entre 2 y 3 metros entre filas y 2 a 2.5 metros entre plantas [13].

- **Cuidados y mantenimiento:** El lulo requiere cuidados regulares que incluyen riego constante, especialmente durante la época de sequía. También es importante controlar malezas, plagas y enfermedades, ya que el lulo es susceptible a algunas de ellas. Además, es recomendable podar la planta para mantenerla bajo control y facilitar la cosecha [10].
- **Cosecha:** El lulo se cosecha cuando alcanza la madurez. Esto se puede determinar por el color de la fruta, que suele volverse amarillo o naranja, dependiendo de la variedad. La fruta se recolecta a mano, cortando el pedúnculo con una tijera o cuchillo [14].
- **Usos:** El lulo se consume principalmente como fruta fresca, ya sea sola o en jugos, batidos y postres. También se utiliza en la fabricación de mermeladas y productos procesados. Tiene un alto contenido de vitamina C y otros nutrientes [15].
- **Problemas comunes:** Algunos problemas comunes en el cultivo de lulo incluyen plagas como el pulgón, la mosca de la fruta y enfermedades como el mildiú polvoriento y el virus del mosaico del lulo [16].
- **Mercado:** El lulo es una fruta popular en muchos mercados locales y regionales. Su demanda puede variar según la región y la estación. Se considera un cultivo importante en algunos países de América Latina [17].
- **Exportación:** En algunos casos, el lulo se exporta a mercados internacionales. Para la exportación, es esencial cumplir con regulaciones fitosanitarias y de calidad [18].

1.1.2. Enfermedades del cultivo de lulo

Dependiendo de las condiciones medioambientales a las cuales se vea sometido el cultivo del lulo, se determina su expresión genotípica [7]. Afectaciones por incidencia por hongos y ser atacado por plagas. tales como:

Enfermedades causadas por hongos:

- 1. Mildiú polvoriento (*Oidium spp.*):** Esta enfermedad fúngica se manifiesta como un polvo blanco o gris en las hojas, tallos y frutos del lulo. Puede debilitar la planta y reducir la producción si no se controla adecuadamente [19]
- 2. Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum*):** Esta enfermedad es causada por el hongo *Fusarium oxysporum* y afecta a una amplia gama de plantas, incluido el lulo. Los síntomas incluyen marchitez, amarilleo de las hojas y, en casos graves, la muerte de la planta. El control de *Fusarium* implica la selección de variedades resistentes y prácticas de manejo, como la rotación de cultivos [1].
- 3. Antracnosis (*Colletotrichum spp.*):** La antracnosis causa manchas oscuras y hundidas en los frutos maduros, lo que puede afectar la calidad y el valor comercial del lulo [20].
- 4. Roya (*Puccinia spp.*):** La roya es una enfermedad que afecta principalmente a las hojas del lulo, causando manchas amarillas o naranjas y debilitando la planta [1].
- 5. Podredumbre de raíz (*Rhizoctonia spp.*):** Esta enfermedad afecta a las raíces de la planta y puede provocar la marchitez y la muerte de la planta [21].
- 6. Sigatoka negra (*Mycosphaerella spp.*):** Aunque esta enfermedad es más común en plátanos y bananos, también puede afectar a las plantas de lulo. Causa manchas oscuras en las hojas y reduce la fotosíntesis [22].

Enfermedades causadas por plagas:

- 1. Pulgones:** Los pulgones son insectos chupadores que se alimentan de la savia de las plantas. Pueden debilitar la planta y transmitir virus [23].

2. **Mosca de la fruta (*Anastrepha spp.*):** La mosca de la fruta puede poner sus huevos en los frutos del lulo, lo que puede dañarlos y hacer que sean inaceptables para la venta [24].
3. **Gusano de la fruta (*Helicoverpa spp.*):** Las larvas de este insecto se alimentan de los frutos del lulo, causando daños significativos a la cosecha [25].
4. **Ácaros:** Los ácaros pueden dañar las hojas y los brotes jóvenes del lulo al chupar la savia de la planta [25].
5. **Escamas:** Las escamas son insectos pequeños que se adhieren a las hojas y los tallos del lulo y se alimentan de la savia [25].
6. **Trips:** Los trips son insectos diminutos que se alimentan de las hojas y pueden causar deformidades en los frutos del lulo [26].

El control de enfermedades y plagas en el cultivo de lulo suele implicar prácticas de manejo integrado, que pueden incluir medidas preventivas como la selección de variedades resistentes, el monitoreo constante de la plantación y el uso de tratamientos químicos o biológicos cuando sea necesario [1].

1.1.3. Fungicidas comerciales

Los fungicidas desempeñan un papel fundamental en la protección de los cultivos a lo largo de su ciclo de vida, desde su establecimiento y desarrollo hasta la cosecha y el almacenamiento. Su uso adecuado contribuye a la producción de alimentos más abundantes y de mejor calidad, así como a la prevención de pérdidas significativas en la industria agrícola, las tres razones principales por las que se utilizan fungicidas en los cultivos son las siguientes [27]:

1. **Control durante el establecimiento y desarrollo del cultivo:** Los fungicidas se aplican para prevenir y controlar enfermedades desde el inicio del cultivo, lo que asegura un crecimiento saludable y vigoroso de las plantas. Esto es esencial para garantizar que las plantas estén en las mejores condiciones para desarrollar un rendimiento óptimo [27].
2. **Aumentar la productividad y reducir imperfecciones:** Las enfermedades pueden reducir significativamente la producción y la calidad de los cultivos. Cuando las hojas se ven afectadas, la fotosíntesis se ve perjudicada, lo que disminuye la producción de alimentos. Además, las imperfecciones en los productos agrícolas pueden afectar su valor en el mercado, ya que los consumidores tienden a preferir productos sanos y de aspecto atractivo. El uso de fungicidas puede ayudar a mantener la salud de las plantas y mejorar la calidad de los cultivos [27].
3. **Mejorar la vida de almacenamiento y la calidad de los productos cosechados:** Después de la cosecha, muchos cultivos se almacenan en bodegas o instalaciones de almacenamiento. Estas áreas son propensas al desarrollo de hongos y esporas que pueden deteriorar los alimentos. El uso de fungicidas en este entorno contribuye a reducir estas amenazas y a prolongar la vida útil de los productos cosechados. Además, en el caso de granos y semillas, el control de hongos es fundamental, ya que los granos infectados pueden producir toxinas peligrosas si se consumen, representando un riesgo para la salud humana y animal [27].

En la siguiente lista se puede apreciar algunos de los fungicidas más comerciales y los componentes activos. Es importante destacar que el impacto ambiental de un fungicida específico depende de factores como la dosificación, la frecuencia de aplicación, las prácticas agrícolas y la geografía [28]:

Figura 1.*Fungicidas comerciales y sus usos*

Fungicida	Componentes	Usos Comunes
Bencenos Sustituidos	Cloroneb, Clorotalonil, Diclorán, Hexaclorobenceno.	Control de una amplia gama de hongos en cultivos.
Tiocarbamatos	Ferbam, Metam sódico, Thiram, Ziram.	Fungicida para el control de enfermedades fúngicas en semillas, frutas (manzana) y vegetales.
Etilén Bis Ditiocarbamatos	Maneb, Zineb, Nabam, Mancozeb.	Control de enfermedades fúngicas en cultivos como maíz, trigo, soja y frutas.
Tioftalamidas	Captán, Captafol, Folpet.	Fungicida sintético utilizado en una amplia variedad de cultivos como el trigo y el arroz.
Cobre	Cobre Inorgánico, Cobre Orgánico.	Fungicida de contacto utilizado en cultivos de frutas, hortalizas y viñedos.
Compuestos Organomercúricos	Compuestos de Metilmercurio, Compuesto de Metoxietil Mercurio, Acetato de Fenilmercurio.	Control de enfermedades fúngicas en cultivos de trigo, cebada y soja.
Compuestos Organoestañicos	Acetato de Fenilestaño, Cloruro de Fenilestaño.	Utilizado para el control de enfermedades en cultivos de manzanas y uvas.

Cadmio	Cloruro de Cadmio, Succinato de Cadmio, Sulfato de Cadmio.	Control de enfermedades fúngicas en la corteza de árboles y césped.
Fungicidas Orgánicos Diversos	Anilazina, Benimilo, Cicloheximida, Dodina, Iprodiona, Metalaxi, Terrazol, Tiabendazol, Triadimefón, Triforina.	

Nota. Lista de Fungicidas comerciales y sus usos. Tomado de: Reconocimiento y Manejo de los Envenenamientos por Pesticidas (Recognition and Management of Pesticide Poisonings, 5th Edition (Spanish)).

Los efectos ambientales de los plaguicidas convencionales son los siguientes:

- Toxicidad ambiental: Plaguicidas convencionales pueden tener efectos adversos sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos y terrestres porque son tóxicos para los organismos [70].
- Resistencia y persistencia: Uso continuo de pesticidas puede crear resistencia en las plagas objetivo, lo que aumenta el uso de pesticidas y, a su vez, aumenta los impactos ambientales [71].
- Contaminación del agua y el suelo: Residuos de pesticidas pueden contaminar los cursos de agua y el suelo, reducir la calidad del agua potable y causar daños a largo plazo a los ecosistemas [70].

1.2. Hongos filamentosos

Los hongos filamentosos, también conocidos como hongos multicelulares o hongos de hifas, son un grupo de hongos que se caracterizan por su estructura filamentosa. A diferencia de las levaduras, que son hongos unicelulares, los hongos filamentosos están formados por una red

de estructuras tubulares llamadas hifas. Aquí hay algunas características de hongos filamentosos [29]:

- Estructura de hifas: Las hifas son estructuras cilíndricas y delgadas que se ramifican y entrelazan para formar una red tridimensional, conocida como micelio. El micelio es la parte vegetativa del hongo y puede extenderse a lo largo del sustrato en busca de nutrientes [29].
- Reproducción: Los hongos filamentosos se reproducen tanto de manera asexual como sexual. La reproducción asexual involucra la formación de esporangiosporas, conidios o esporas de otro tipo. La reproducción sexual implica la fusión de células sexuales especializadas llamadas gametangios [29].
- Nutrición: Los hongos filamentosos son heterótrofos y obtienen su alimento descomponiendo materia orgánica. Son saprófitos o parásitos y pueden vivir en una amplia variedad de ambientes, descomponiendo materia muerta o infectando plantas, animales y otros organismos [29].

Algunos ejemplos de hongos filamentosos incluyen:

- *Aspergillus*: Género que incluye muchas especies, algunas de las cuales son utilizadas en la producción de alimentos fermentados y en la industria farmacéutica. También puede ser un patógeno oportunista en seres humanos [29].
- *Penicillium*: Un género que incluye especies utilizadas en la producción de quesos como el queso azul, así como la especie *Penicillium chrysogenum*, que se utiliza para producir penicilina, un antibiótico [29].

- *Rhizopus*: Este género incluye hongos como *Rhizopus stolonifer*, causante de la descomposición de alimentos y un hongo común en el proceso de fermentación del tempeh [29].

Los hongos filamentosos desempeñan un papel fundamental en la descomposición de la materia orgánica en la naturaleza, lo que es esencial para el reciclaje de nutrientes. Además, algunos de estos hongos tienen aplicaciones industriales importantes, como la producción de alimentos fermentados, la elaboración de antibióticos y otros productos químicos, y la investigación científica. Son un grupo diverso y versátil que desempeña múltiples roles en el ecosistema y en la sociedad humana [30].

1.2.1. Generalidades de los hongos filamentosos

Se dividen en dos grupos: filamentosos y levaduriformes. Los filamentosos son pluricelulares y forman filamentos, mientras que los levaduriformes son unicelulares. La estructura de los hongos es más compleja que la de las setas comestibles o los hongos rojos que se ven en el bosque. Estos varían entre 3 tipos de cuerpos los cuales son: Cuerpo fructífero, cuerpo reproductivo o esporocarpo es la fase sexual de los hongos filamentosos donde se forman estructuras productoras de esporas. Pueden ser epígeos, emergiendo sobre el suelo, o hipógeos, creciendo bajo el suelo. Aunque es lo que conocemos como hongo, es solo una parte de la constitución de los hongos. Cuerpo vegetativo estructura del hongo filamentosos conocida como micelio, que es la fase vegetativa del hongo y no tiene funciones de reproducción. Aunque es simple en apariencia, cuenta con estructuras internas que permiten su desarrollo las cuales son [31]:

- Hifas: Filamentos que forman el cuerpo vegetativo de los hongos, compuestas por células y crecen de modo apical en la punta. Su pared celular está compuesta de quitina [31].
- Septos: estructuras que dividen las hifas de los hongos, pero a pesar de esto, las células pueden comunicarse entre ellas mediante poros en dichos bloques, permitiéndoles hacer la recombinación genética y reproducirse. Su presencia puede variar [31].

- **Micelio:** Es el conjunto de hifas que se unen en una maraña filamentososa y existen dos tipos: el micelio primario haploide y el micelio secundario diploide. Este último es esencial para los ecosistemas, ya que ayuda a degradar materia orgánica y puede dar paso a la formación del cuerpo fructífero. También se mencionan células esféricas, aunque no se especifica su función [31].

Y por último tenemos las células esféricas son la única estructura de los hongos levaduriformes, son organismos unicelulares, de forma ovalada y esférica, con un tamaño de 6 a 30 micras. Pueden formar colonias macroscópicas, pero no forman tejidos especializadas ni agrupaciones como los hongos filamentosos [31].

Estructura filamentososa: La característica distintiva de los hongos filamentosos es su estructura filamentososa, compuesta por largas y delgadas estructuras tubulares llamadas hifas. Estas hifas se ramifican y entrelazan para formar una red tridimensional denominada micelio. El micelio es la parte vegetativa del hongo y es responsable de la absorción de nutrientes [32].

Nutrición: Los hongos filamentosos son heterótrofos, lo que significa que obtienen su alimento de fuentes orgánicas. Son saprófitos, descomponiendo materia orgánica muerta, o pueden ser parásitos, infectando plantas, animales u otros hongos. Los hongos filamentosos secretan enzimas que descomponen la materia orgánica en sustancias más simples, que luego absorben a través de sus hifas [32].

Reproducción: Los hongos filamentosos pueden reproducirse de forma asexual y sexual. La reproducción asexual implica la formación de esporangiosporas, conidios u otras estructuras de esporulación. La reproducción sexual implica la fusión de células sexuales especializadas, como gametangios, que da lugar a la formación de esporas sexuales. La variabilidad genética se logra principalmente a través de la reproducción sexual [31].

Importancia ecológica: Los hongos filamentosos desempeñan un papel esencial en la descomposición de la materia orgánica en la naturaleza. Contribuyen al ciclo de nutrientes al descomponer materia muerta, reciclando nutrientes como carbono y nitrógeno en los ecosistemas. Además, establecen relaciones simbióticas con plantas, como las micorrizas, que ayudan en la absorción de nutrientes [30].

Importancia industrial y médica: Algunos hongos filamentosos tienen importancia en la industria alimentaria y farmacéutica. Por ejemplo, especies de *Penicillium* se utilizan en la producción de quesos y la fabricación de antibióticos como la penicilina. Sin embargo, algunos hongos filamentosos también pueden ser patógenos oportunistas en humanos, causando infecciones [33].

Investigación científica: Los hongos filamentosos, en particular el hongo modelo *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de panadería), han sido fundamentales en la investigación científica en áreas como la biología celular y molecular, la genética y la biotecnología [31].

Diversidad: El grupo de hongos filamentosos es muy diverso y abarca una amplia gama de especies y géneros. Cada uno puede tener características particulares en términos de ecología, biología y aplicaciones [31].

1.2.2. Descripción del género fusarium

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas. Debido a su capacidad de crecer a 37°C, son considerados oportunistas. Pueden causar infecciones sistémicas en pacientes inmunocomprometidos, con una alta mortalidad. Algunas de sus especies producen toxinas que afectan al hombre y animales. De las más de 100 especies de *Fusarium* descritas, sólo 12 de ellas pueden considerarse patógenas para el humano, entre ellas destacan *F. solani*, *F. oxysporum* y *F. verticilloides*, en orden decreciente de frecuencia. Las características más importantes del género se dividen en varias categorías tales como [34]:

Características morfológicas: Los hongos del género *Fusarium* se caracterizan por tener hifas septadas y delgadas, lo que significa que sus estructuras filamentosas están divididas por tabiques internos. Las hifas pueden ser blancas, rosadas, naranjas, amarillas o de otros colores, dependiendo de la especie y las condiciones de crecimiento. Además, producen esporas asexuales en estructuras llamadas conidios [35].

Ciclo de vida: *Fusarium* se reproduce tanto de manera asexual como sexual. La reproducción asexual involucra la formación de conidios, que son esporas que se liberan y pueden diseminarse por el viento o el agua. La reproducción sexual implica la formación de estructuras especializadas llamadas esporangios o cleistotecios, y la fusión de células sexuales [35].

Hábitat: Los hongos del género *Fusarium* son saprófitos y pueden vivir en una variedad de hábitats, descomponiendo materia orgánica muerta. También pueden ser patógenos de plantas, animales y humanos, causando enfermedades en diferentes hospederos [36].

Patogenicidad: *Fusarium* es conocido por ser un género de hongos fitopatógenos, causando enfermedades en una amplia gama de plantas. Algunas especies de *Fusarium* son responsables de enfermedades en cultivos agrícolas, como el marchitamiento de plantas y la podredumbre de raíces. Además, algunas especies de *Fusarium* pueden producir micotoxinas, que son metabolitos tóxicos, que pueden contaminar los alimentos y representar un riesgo para la salud humana y animal [35].

Importancia industrial y científica: A pesar de su reputación como patógenos, algunas especies de *Fusarium* se utilizan en aplicaciones industriales. Por ejemplo, *Fusarium graminearum* se utiliza en la producción de enzimas y otras sustancias químicas. Además, *Fusarium oxysporum* se ha utilizado en investigaciones científicas para estudiar interacciones planta-hongo y genética fúngica [36].

Desafíos en la agricultura: Los hongos del género *Fusarium* representan un desafío importante en la agricultura debido a su capacidad para causar enfermedades en cultivos y producir micotoxinas perjudiciales para la salud humana y animal. El manejo de *Fusarium* en la agricultura implica prácticas de control como la rotación de cultivos, la selección de variedades resistentes y el uso de fungicidas [1].

1.3. Cultivo de aguacate

El cultivo del aguacate, científicamente conocido como *Persea americana*, es una actividad agrícola importante en muchas partes del mundo. El aguacate es valorado por su fruto, que es rico en grasas saludables y es utilizado en una amplia variedad de platos y productos alimentarios [37].

Selección del sitio y variedades:

- **Clima:** El aguacate se cultiva en regiones de climas cálidos a subtropicales. Es sensible a las heladas y requiere temperaturas suaves para un óptimo crecimiento [37].
- **Suelo:** Los aguacates crecen mejor en suelos bien drenados con pH ligeramente ácido o neutro [37].
- **Variedades:** Hay numerosas variedades de aguacate, y la elección dependerá de factores como el clima local y el propósito de cultivo (variedades para consumo en fresco, aceite, etc.). Algunas variedades populares incluyen *Hass*, *Fuerte*, *Bacon*, y *Zutano* [37].

Propagación: Los aguacates se propagan generalmente a partir de semillas o injertos. Los injertos se utilizan comúnmente para garantizar que las plantas tengan las características deseables de la variedad madre [38].

Plantación:

- La distancia de plantación varía según la variedad y las condiciones locales, pero generalmente se sitúa entre 4 y 6 metros entre árboles.
- Los árboles de aguacate son tolerantes a la poda y pueden adaptarse a diferentes sistemas de cultivo, como la formación de copas abiertas o en forma de paraguas.

Riego: El riego adecuado es esencial, especialmente durante la sequía y en las etapas iniciales del crecimiento. El aguacate es sensible al estrés hídrico [37].

Fertilización: Los aguacates requieren una nutrición adecuada. Se debe realizar un análisis de suelo para determinar los nutrientes necesarios y luego aplicar fertilizantes según las recomendaciones [37].

Control de plagas y enfermedades: Los aguacates son susceptibles a diversas plagas y enfermedades, como el barrenador del hueso del aguacate, el ácaro de la sarna, y el hongo *Phytophthora*. Se requiere un programa de manejo integrado de plagas para prevenir y controlar estos problemas [1].

Cosecha: La cosecha del aguacate se realiza cuando los frutos alcanzan la madurez. La madurez se determina generalmente por la coloración de la piel y la facilidad de separar el fruto del árbol [1].

Postcosecha: Los aguacates son sensibles al daño mecánico y al frío, por lo que se deben manipular con cuidado y almacenar a la temperatura adecuada. Para prolongar la vida útil de los frutos, se utilizan prácticas de control de temperatura y humedad [1].

1.3.1. Generalidades del aguacate

El aguacate es el fruto del árbol del mismo nombre, de hoja perenne de la familia de las lauráceas. Con forma de pera, en su interior contiene una única semilla redondeada de color

claro y 2-4 cm de longitud, que aparece recubierta de una delgada capa leñosa de color marrón. El aguacate es originario de México, Colombia y Venezuela. Los antiguos aztecas lo llamaban *ahuacatl* ya que se consideraba como un fruto afrodisíaco. Las variedades que más se comercializan son: *Hass* la más conocida y comercializada; de pequeño tamaño, rugoso y de piel oscura y pulpa amarilla. *Bacon* la variedad más temprana, de color verde brillante y muy cultivada, *Cocktail* o dátil y *Fuerte*. Ampliamente cultivada en regiones de climas cálidos y subtropicales en todo el mundo [39].

Variedades: Existen numerosas variedades de aguacate, cada una con características específicas en cuanto a tamaño, forma, textura de la piel y del fruto, contenido de aceite, sabor y resistencia a diferentes condiciones climáticas. Algunas de las variedades más conocidas son *Hass*, *Fuerte*, *Bacon*, *Zutano*, y *Reed*, entre otras [32].

Estructura del árbol: El aguacate es un árbol de hoja *perenne* que puede alcanzar alturas de hasta 20 metros. Su copa puede variar desde un crecimiento compacto hasta uno abierto, dependiendo de las prácticas de poda y el tipo de cultivo. Las hojas son de color verde oscuro y elípticas [40].

Fruto: El fruto del aguacate es ampliamente conocido por su alto contenido de grasa saludable, principalmente ácidos grasos monoinsaturados. La pulpa del aguacate es cremosa y de sabor suave, y se utiliza en una variedad de platos, desde guacamole hasta ensaladas, sándwiches y sushi [41].

Nutrición: El aguacate es una fuente de nutrientes importantes, incluyendo grasas saludables, fibra, vitaminas (vitamina K, la vitamina C, la vitamina B6 y el ácido fólico) y minerales (potasio). Su alto contenido de grasas monoinsaturadas y su bajo contenido de azúcares hacen que sea un alimento saludable [32].

Propagación: Los aguacates se pueden propagar a partir de semillas (hueso) o mediante injertos de esquejes de árboles maduros. La propagación a partir de semillas suele ser un

proceso más lento y puede resultar en variabilidad genética, mientras que el injerto se utiliza para garantizar que el nuevo árbol mantenga las características deseables de la variedad madre [38].

Climas y suelos: El aguacate se cultiva en climas cálidos a subtropicales, con temperaturas óptimas entre 20°C y 30°C. El árbol es sensible a las heladas, lo que limita su cultivo en regiones con inviernos fríos. Prefiere suelos bien drenados y puede tolerar suelos ligeramente ácidos a neutros [1].

Polinización: Algunas variedades de aguacate son "tipo A" y otras son "tipo B". Esto se refiere a su patrón de floración y polinización cruzada. La polinización cruzada es beneficiosa para la formación de frutos, ya que algunas variedades tienen flores que son receptivas a la polinización por la mañana (tipo A) y otras por la tarde (tipo B). Tener árboles de ambas categorías en una plantación puede aumentar la producción [42].

Cosecha y postcosecha: La cosecha del aguacate se realiza a mano, y la madurez se determina principalmente por el color de la piel y la facilidad de separar el fruto del árbol. Los aguacates pueden madurar después de la cosecha y deben almacenarse a la temperatura adecuada para prolongar su vida útil [42].

El cultivo del aguacate es una actividad agrícola importante en muchas regiones del mundo debido a la demanda creciente de esta fruta versátil y nutritiva. El manejo adecuado, la elección de variedades apropiadas y el conocimiento de las condiciones locales son esenciales para el éxito en el cultivo del aguacate. El cultivo del aguacate se ha vuelto más sostenible con avances que permiten producir un kilo de aguacate utilizando un promedio de 600 litros de agua. El aguacate se ha convertido en un alimento popular debido a sus beneficios nutricionales, pero también ha generado controversia debido a su consumo de agua, la Organización Mundial del Aguacate ha revelado las claves que hacen del aguacate un referente en innovación de cultivo sostenible. El aguacate se adapta a diferentes zonas climáticas en todo el mundo y en muchas de las zonas donde se cultiva, como en Colombia

o México, hay un alto porcentaje de precipitaciones, lo que hace que no sea necesario el riego [39].

1.3.2. Residuos de aguacate

Los residuos de aguacate, como las cáscaras y las semillas, no se suelen consumir directamente como el fruto mismo, pero tienen aplicaciones potenciales en diversas áreas. Aquí hay algunas formas en las que los residuos de aguacate pueden ser aprovechados [43]:

Fertilizante orgánico: Las cáscaras y las hojas de aguacate contienen nutrientes como potasio, nitrógeno, fósforo y calcio, lo que las hace adecuadas para ser compostadas o utilizadas como fertilizante orgánico en jardinería y agricultura. El compostaje de los residuos de aguacate puede enriquecer el suelo y mejorar su estructura [44].

Productos cosméticos: El aceite de aguacate se extrae de la pulpa del fruto, pero las semillas del aguacate también pueden contener aceite. Este aceite es rico en ácidos grasos y es utilizado en la fabricación de productos cosméticos, como cremas, lociones y champús. El aceite de aguacate es apreciado por sus propiedades hidratantes y suavizantes para la piel y el cabello [45].

Suplementos dietéticos: Los extractos de semillas de aguacate se utilizan en la industria de suplementos dietéticos. Estos extractos contienen compuestos como fitoesteroles y antioxidantes, que se consideran beneficiosos para la salud [10].

Colorantes naturales: Algunos residuos de aguacate, como las cáscaras secas, se pueden utilizar para obtener colorantes naturales para alimentos y textiles. Los pigmentos rojos y morados presentes en las cáscaras pueden utilizarse en la tintura de telas o como colorantes alimentarios naturales [46].

Biomasa para energía: En algunas regiones, los residuos de aguacate se han utilizado como biomasa para la generación de energía, ya sea a través de la producción de biogás o la

combustión directa. Esto puede contribuir a la gestión sostenible de los residuos agrícolas y a la generación de energía renovable [47].

Alimentación animal: Los residuos de aguacate, como las cáscaras, pueden ser incluidos en la dieta de ciertos animales, como el ganado o los cerdos, como fuente de fibra y nutrientes [48].

Un estudio publicado en el *Journal of Food Science* del Instituto de Tecnólogos de Alimentos revela que las semillas de aguacate pueden ser utilizadas como colorante natural para alimentos en el futuro, aunque la mayoría de los estudios sobre este fruto se han centrado en la composición fitoquímica de la parte comestible, el procesamiento industrial de aguacate genera una gran cantidad de cáscaras y semillas como desechos, los cuales pueden contener grandes cantidades de compuestos fenólicos y mostrar una actividad antioxidante más alta que la pulpa. El aprovechar el contenido de fitoquímicos de estos residuos puede dar lugar a nuevos productos y añadir valor a la industria del aguacate [49].

El aprovechamiento de residuos en el cultivo de aguacate es:

- Reducción de residuos: Se entiende por aprovechamiento de residuos el aprovechamiento efectivo de subproductos o residuos, que reduce la cantidad de residuos generados por las actividades agrícolas [70].
- Ventajas para el medio ambiente: El reciclaje puede beneficiar al medio ambiente, porque minimiza la cantidad de residuos depositados en los vertederos y, en cambio, los utiliza de forma productiva [72].
- Sostenibilidad: La gestión sostenible de residuos puede mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro del aguacate al reducir la dependencia de prácticas agrícolas con uso intensivo de productos químicos.

- Impactos sociales: La eliminación puede tener un impacto positivo en las comunidades locales por oportunidades económicas y empleos relacionados con la gestión de residuos.

1.3.3. Propiedades físico-químicas de la semilla de aguacate

La semilla de aguacate, también conocida como hueso, tiene diferentes propiedades fisicoquímicas que pueden variar según la variedad de aguacate y otros factores ambientales los cuales son los siguientes [72]:

Composición:

- Grasas: Contienen una cantidad importante de grasas, principalmente en forma de aceites vegetales saludables como el ácido oleico.
- Proteínas: Contiene menos proteínas que la pulpa del aguacate.
- Fibra: Las semillas también contienen fibra, aunque la cantidad puede variar.

Contenido de agua

- El contenido de agua de la semilla del aguacate es bajo en comparación con la pulpa

Composición mineral

- Las semillas de aguacate contienen varios minerales como potasio, magnesio y fósforo. Estos minerales son importantes para diversas funciones biológicas.

Fitonutrientes

- Las semillas contienen fitonutrientes con propiedades antioxidantes, como los polifenoles, que pueden tener beneficios para la salud.

Taninos

- La presencia de taninos en la semilla puede afectar su sabor y propiedades antioxidantes.

Tamaño y forma

- La semilla del aguacate es de tamaño considerable y suele ser redonda o ligeramente ovalada.

Color:

- El color de la semilla del aguacate puede variar, pero suele ser más claro que la piel y la pulpa.

Dureza:

- La semilla es dura y duradera, lo que la diferencia de las semillas de otras frutas.

1.4. Biofungicidas

Los biofungicidas, también conocidos como agentes de control biológico o fungicidas biológicos, son productos utilizados en la agricultura y jardinería para controlar enfermedades fúngicas en plantas. A diferencia de los fungicidas químicos convencionales, los biofungicidas están formulados a partir de microorganismos vivos, productos derivados de microorganismos o sustancias naturales, y funcionan de diversas maneras para prevenir o reducir las infecciones por hongos [50].

1. Microorganismos antagónicos: Los biofungicidas pueden contener microorganismos benéficos que compiten con los hongos patógenos por espacio y recursos. Por ejemplo, algunas cepas de bacterias beneficiosas, como *Pseudomonas* y *Bacillus*, y hongos beneficiosos, como *Trichoderma*, pueden colonizar las raíces o el sustrato y desplazar a los patógenos.

2. Producción de metabolitos antimicrobianos: Algunos microorganismos en los biofungicidas producen compuestos antimicrobianos, como antibióticos y enzimas que atacan a los hongos patógenos, inhibiendo su crecimiento y desarrollo.

3. Estimulación del sistema de defensa de la planta: Los biofungicidas pueden activar las respuestas de defensa de la planta, fortaleciendo su resistencia natural a las infecciones fúngicas. Estimulan la producción de *fitoalexinas*, proteínas de defensa y otros compuestos que dificultan la colonización por hongos patógenos.

4. Competencia por nutrientes: Los microorganismos benéficos en los biofungicidas pueden consumir nutrientes que de otro modo estarían disponibles para los hongos patógenos, privándolos de recursos esenciales para su crecimiento.

5. Protección de la superficie de la planta: Algunos biofungicidas forman una barrera física o una película protectora en la superficie de la planta, evitando la colonización de los hongos patógenos.

6. Inhibición de la germinación de esporas: Algunos biofungicidas pueden prevenir la germinación de las esporas de hongos patógenos, lo que impide la infección de las plantas.

7. Compatibilidad con el medio ambiente: Los biofungicidas suelen ser más amigables con el medio ambiente y menos tóxicos para los seres humanos y otros organismos no objetivos en comparación con los fungicidas químicos. Esto contribuye a la gestión sostenible de enfermedades en la agricultura.

8. Resistencia más baja a hongos patógenos: A diferencia de los fungicidas químicos, los biofungicidas tienden a tener menos probabilidad de generar resistencia en los hongos patógenos, ya que actúan de diversas maneras y no están destinados a un solo objetivo específico.

Los biofungicidas son una herramienta importante en la gestión integrada de plagas y enfermedades en la agricultura, ya que ofrecen opciones de control más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente [50].

1.4.1. Tipos de biofungicidas

Los biofungicidas son productos de control biológico que se utilizan para combatir enfermedades fúngicas en plantas. Estos productos contienen microorganismos beneficiosos o compuestos derivados de microorganismos que actúan para prevenir, suprimir o controlar los hongos patógenos. Los más conocidos son los siguientes [51]:

Biofungicidas microbianos:

- **Bacterias beneficiosas:** Las cepas de bacterias beneficiosas, como *Pseudomonas* y *Bacillus*, pueden competir con los hongos patógenos por espacio y nutrientes. También producen compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de los patógenos.
- **Hongos beneficiosos:** Algunos hongos beneficiosos, como *Trichoderma*, *Gliocladium* y *Beauveria*, pueden colonizar las raíces o el sustrato y competir con los hongos patógenos, así como secretar enzimas y compuestos que atacan a los patógenos.
- **Bacteriófagos:** Los bacteriófagos son virus que infectan y destruyen bacterias patógenas. Se han investigado como una opción para el control de enfermedades bacterianas en plantas.

Productos a base de extractos de microorganismos: Los extractos de microorganismos, como compuestos extracelulares y productos metabólicos, se utilizan en algunos biofungicidas para inhibir el crecimiento de hongos patógenos o estimular las defensas de las plantas [52].

Productos a base de enzimas y compuestos naturales: Algunos biofungicidas contienen enzimas y compuestos naturales que tienen propiedades antifúngicas. *Quitinaasa*, una enzima que degrada la quitina en las paredes celulares de los hongos, se utiliza para controlar enfermedades fúngicas [53].

Bacterias fijadoras de nitrógeno: Algunas bacterias fijadoras de nitrógeno, como las cepas de *Azospirillum* y *Azotobacter*, pueden promover el crecimiento y la salud de las plantas, lo que las hace menos susceptibles a las infecciones fúngicas [54].

Productos de fermentación: Algunos productos a base de extractos de fermentación contienen compuestos producidos por microorganismos durante la fermentación. Estos compuestos pueden tener propiedades antifúngicas [55].

Productos a base de extractos de plantas: Los extractos de plantas, como el aceite esencial de ajo, aceite de neem y extractos de cítricos, se han utilizado en productos biofungicidas debido a sus propiedades antifúngicas y su capacidad para inhibir el crecimiento de hongos patógenos [1].

Microorganismos antagonistas específicos: Algunos biofungicidas se desarrollan para combatir patógenos específicos. Por ejemplo, biofungicidas específicos de hongos se han desarrollado para controlar enfermedades causadas por hongos patógenos [51].

1.4.2. Compuestos poli fenólicos con actividad fungicida

Los compuestos polifenólicos son compuestos químicos naturales que se encuentran en una amplia variedad de plantas y alimentos, y muchos de ellos han demostrado tener propiedades fungicidas o antifúngicas. Estos compuestos son conocidos por su capacidad para interferir con el crecimiento y desarrollo de hongos patógenos. Algunos de compuestos polifenólicos con actividad fungicida son los siguientes [53]:

Resveratrol: El resveratrol es un polifenol que se encuentra en el vino tinto, las uvas, los cacahuets y algunas otras plantas. Se ha estudiado por su capacidad para inhibir el crecimiento de varios hongos patógenos, incluyendo especies de *Botrytis* y *Candida* [56].

Eugenol: El eugenol es un compuesto que se encuentra en el aceite de clavo y el aceite de canela. Es conocido por sus propiedades antifúngicas y se ha utilizado para controlar el crecimiento de hongos como el *Aspergillus* y *el Candida* [56].

Catequinas: Las catequinas son un grupo de compuestos polifenólicos que se encuentran en el té verde y en otras plantas. Se ha demostrado que tienen actividad antifúngica contra varios hongos, incluyendo especies de *Candida* y *Fusarium* [56].

Curcumina: La curcumina es el componente activo de la cúrcuma. Se ha estudiado por sus propiedades antifúngicas y se ha demostrado que inhibe el crecimiento de hongos como el *Candida albicans* [56].

Quercetina: La quercetina es un flavonoide que se encuentra en una variedad de alimentos, como manzanas, cebollas y brócoli. Se ha investigado por su actividad antifúngica contra hongos como el *Candida* y el *Aspergillus* [56].

Ácido gálico: El ácido gálico es un compuesto polifenólico que se encuentra en una variedad de plantas, como el aloe vera y algunas frutas. Ha demostrado actividad antifúngica contra hongos como el *Candida* y el *Penicillium* [56].

Taninos: Los taninos son compuestos polifenólicos que se encuentran en alimentos como el té, el vino tinto y ciertas frutas. Han demostrado actividad antifúngica contra una variedad de hongos, incluyendo especies de *Botrytis* y *Penicillium* [56].

Estos compuestos polifenólicos pueden actuar de diferentes maneras para inhibir el crecimiento de hongos patógenos, como la interferencia con las membranas celulares, la desnaturalización de proteínas esenciales y la inhibición de enzimas críticas para el metabolismo fúngico. Su potencial como fungicidas naturales los hace de interés en la agricultura y en la búsqueda de alternativas más sostenibles a los fungicidas químicos. Sin embargo, es importante realizar investigaciones adicionales para comprender completamente su eficacia y su seguridad en diferentes aplicaciones agrícolas [56].

1.4.3. Métodos de extracción de polifenoles de matrices biológicas

La extracción de polifenoles de matrices biológicas, como plantas, frutas, hojas, semillas y otros materiales vegetales, es un proceso importante en la investigación y la industria alimentaria, farmacéutica y de cosméticos. Los polifenoles son compuestos bioactivos con una variedad de propiedades beneficiosas para la salud, y su extracción es esencial para su aprovechamiento. Los métodos más comunes de extracción de polifenoles son [57]:

Extracción con solventes orgánicos: Este método implica el uso de solventes orgánicos, como etanol, metanol o acetona, para disolver y extraer los polifenoles de la matriz biológica. Se realiza mediante maceración, percolación o agitación. El extracto se filtra y se concentra para eliminar el solvente, y luego se seca para obtener los polifenoles en forma de polvo.

Extracción con agua: La extracción con agua, también conocida como maceración acuosa, es un método suave que utiliza agua para extraer polifenoles. Es adecuado para compuestos polifenólicos solubles en agua. Este proceso puede realizarse a temperatura ambiente o con calor, y se puede combinar con otros métodos como la maceración en frío o caliente.

Extracción asistida por ultrasonidos: La extracción asistida por ultrasonidos utiliza ondas ultrasónicas para aumentar la eficiencia de la extracción. Las ondas ultrasónicas generan cavitación en el solvente, lo que facilita la ruptura de las células vegetales y la liberación de los polifenoles.

Extracción asistida por microondas: En este método, se utiliza radiación de microondas para calentar el solvente y acelerar la extracción de polifenoles. La extracción asistida por microondas es rápida y eficiente.

Extracción con fluidos supercríticos: En la extracción con fluidos supercríticos, se emplea dióxido de carbono supercrítico como solvente. Este proceso utiliza CO₂ en un estado entre gas y líquido, lo que permite una extracción eficiente de polifenoles sin residuos de solventes.

Extracción a través de técnicas de cromatografía: En la cromatografía de columna, se utiliza una columna rellena con un adsorbente para separar los polifenoles de otros componentes. También existen técnicas avanzadas, como la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), que se utilizan para separar y cuantificar los polifenoles.

Extracción con tecnología de membranas: La extracción con membranas implica el uso de membranas semipermeables para separar los polifenoles del resto de la matriz biológica. Esto se logra mediante técnicas como la microfiltración y la ultrafiltración.

La elección del método de extracción depende de varios factores, como la naturaleza de los polifenoles, la matriz biológica, la eficiencia requerida y los recursos disponibles. Cada método tiene sus ventajas y desventajas, y es importante seleccionar el enfoque adecuado para el propósito específico de la extracción.

1.4.4. Evaluación in vitro de las actividades fungicidas del extracto

Para la realización de las pruebas in vitro donde se puede probar la actividad antagónica frente al hongo entomopatógenos que afecta a los cultivos de solanácea (papa, maíz, tomate, lulo), los autores Petruta Mihaela Matei, Laura Buzón-Durán, Eduardo Pérez-Lebeña, Jesús Martín-Gil, Beatrice Michaela Iacomì, M. Carmen Ramos-Sánchez, Pablo Martín-Ramo del congreso Ibérico de agro ingeniería “Estudio de la actividad antifúngica in vitro de materiales compuestos basados en complejos de inclusión de polifenoles contra *Phytophthora cinnamomi*” en donde han utilizado la prueba de la evaluación in vitro para ver la enfermedad que genera el hongo *Phytophthora cinnamomi* en el suelo y afecta a una gran variedad de familias de planta como el pasto, helechos, plantas ornamentales y demás, afectando cultivos de piña y el aguacate. Utilizando extractos de curcumina, ácido ferúlico, ácido gálico y silimarina a diferentes concentraciones, con y sin nanopartículas de plata [58].

A continuación, se presentan los pasos principales para el desarrollo de la prueba:

1. **Preparación del extracto:** Extraer los compuestos bioactivos del material vegetal (en este caso, pepa de aguacate) utilizando el solvente adecuado (por ejemplo, etanol) mediante un método de extracción

2. **Preparación del inóculo fúngico:** Cultivar y mantener una cepa pura de *Fusarium oxysporum* en medio de cultivo adecuado.
3. **Aplicación del extracto:** Aplicar el extracto en diferentes concentraciones sobre el medio de cultivo que contiene el *Fusarium oxysporum*.
4. **Incubación:** Incubar las placas o cultivos a una temperatura y condiciones adecuadas para el crecimiento del hongo.
5. **Medición de la inhibición del crecimiento:** Medir el diámetro de crecimiento de *Fusarium oxysporum* en los controles, utilizando una regla para medir la distancia radial de crecimiento desde el centro.

1.4.5. Proceso de producción de biofungicidas

El desarrollo del biofungicida a base de semillas de aguacate y la cepa *Fusarium oxysporum* implica procedimientos, desde la selección de materias primas hasta preparación y formulación del producto final [25]:

Selección de materia prima:

- Semilla: Se elige la semilla de aguacate como ingrediente principal debido a sus propiedades fungicidas y posibles compuestos bioactivos.
- Cepa: Se selecciona una cepa *Fusarium oxysporum* con propiedades antagonistas frente a hongos patógenos.

Acondicionamiento:

- Las semillas pasan por un proceso de procesamiento para eliminar impurezas e impurezas.
- El pretratamiento se realiza para maximizar la extracción de compuestos bioactivos de las semillas mediante técnicas como trituración o molienda.

Formulación del biofungicida:

- Se añaden los ingredientes necesarios (etanol) para mejorar la propagación, adherencia y estabilidad del biofungicida.

Prueba de eficacia:

- Para evaluar la efectividad del biofungicida contra el hongo *Fusarium oxysporum* se realizan estudios de laboratorio, donde las pruebas también incluyen la evaluación de su inhibición de crecimiento.

Este proceso de producción integrado tiene como objetivo utilizar las propiedades antifúngicas de la semilla del aguacate y los beneficios del *Fusarium oxysporum* para proporcionar una solución sostenible y eficaz para combatir los hongos patógenos en la agricultura [6].

1.5. Marco legal

Existen varios convenios internacionales relacionados con la gestión de sustancias químicas y peligrosas, que buscan establecer estándares y principios a nivel global para prevenir los riesgos asociados con su producción, uso y disposición final: Convenio de Rotterdam es conocido como el “*Convenio sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional*” tiene como objetivo promover la gestión segura de los plaguicidas y productos químicos peligrosos en el comercio internacional. Establece un procedimiento de consentimiento fundamentado previo para la importación y exportación de ciertos productos químicos peligrosos, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, Convenio de Estocolmo conocido como el Convenio de la ONU sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. Busca proteger la salud humana y el medio ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes (COP) mediante la eliminación o restricción de su producción y uso. El convenio establece una lista de COPs que deben ser eliminados o restringidos, y promueve la cooperación internacional para su gestión segura, Convenio de Basilea: Este convenio, también conocido como el Convenio sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación. Tiene como objetivo minimizar la producción de residuos peligrosos y prevenir su transferencia transfronteriza. El convenio establece normas para la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos, y promueve la cooperación entre los países para su gestión segura, Convenio de Minamata también conocido como el Convenio de la ONU sobre el Mercurio, busca proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos del mercurio. El convenio establece medidas para

reducir las emisiones y liberaciones de mercurio en el medio ambiente, y promueve la gestión segura de los productos y residuos que contienen mercurio [59].

En Colombia, la ley que regula la gestión de sustancias químicas y peligrosas es la Ley 9 de 1979, también conocida como el Código Sanitario Nacional. Esta ley establece los principios y las normas para la protección de la salud pública en lo relacionado con la producción, almacenamiento, transporte, comercialización, uso y disposición final de las sustancias químicas y peligrosas. Entre las disposiciones que tiene la ley se incluye lo siguiente: Las empresas que produzcan, importen, exporten, comercialicen o utilicen sustancias químicas y peligrosas deben cumplir con las normas de seguridad y prevención establecidas por las autoridades competentes, se deben establecer medidas de prevención y control de riesgos en las instalaciones donde se manejen sustancias químicas y peligrosas, incluyendo la identificación de los peligros y la capacitación del personal y por último se deben llevar registros de la producción, importación, exportación, comercialización y uso de sustancias químicas y peligrosas, así como de los incidentes y accidentes relacionados con su manejo [60].

La regulación para el manejo, uso y control de plaguicidas se encuentra establecida en varios decretos. A continuación, se mencionan algunos de los decretos vigentes más relevantes los cuales son: Decreto 1843 de 1991 en cual reglamenta el registro, control y vigilancia de los plaguicidas de uso agrícola y doméstico en Colombia, Decreto 1212 de 2000 este reglamenta el control, manejo y uso de los plaguicidas y productos químicos de uso industrial y comercial, decreto 1076 de 2015 que establece las disposiciones reglamentarias para la gestión integral de residuos peligrosos, incluyendo los residuos de plaguicidas y productos químicos y las disposiciones para la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental en Colombia, que incluye la gestión de plaguicidas y productos químicos y por último el decreto 1844 de 2017: Modifica el Decreto 1843 de 1991 y establece las disposiciones para el registro, control y vigilancia de los plaguicidas de uso agrícola y doméstico en Colombia [61].

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) es la entidad encargada de la regulación y control de los plaguicidas en el país, y ha emitido diversas resoluciones para el manejo de estos productos los cuales son: Resolución 1677 de 2008: Establece los requisitos y procedimientos para la expedición del carné de aplicador de plaguicidas en Colombia, Resolución 440 de 2011 el cual establece las disposiciones para la inscripción de empresas prestadoras de servicios de fumigación en Colombia, resolución 75487 de 20020 establece el reglamento técnico de etiquetado para sustancias químicas, incluyendo los plaguicidas, resolución 1639 de 2013 este establece las disposiciones para la autorización de actividades de investigación y desarrollo de plaguicidas en Colombia, resolución 062376 del 20 de febrero de 2020 prohíbe en Colombia la importación, fabricación, registro, comercialización y uso de plaguicidas de uso agrícola que contengan una o varias sustancias activas altamente peligrosas en su composición garantizada incluidas en la tabla 1., resolución 450 de 2021 que establece las condiciones y requisitos para el registro de plaguicidas genéricos en Colombia [1].

Figura 2.
Sustancias prohibidas para uso de plaguicidas

No. Cas	Sustancia	Identificación IUPA
96-12-8	Dibromocloropropano (DBCP)	1,2-dibromo-3-chloropropane
106-93-4	Dibromuro de Etileno	Ethylene dibromide or 1,2-dibromoethane
72-20-8	Endrin	1,2,3,4,10-hexachloro-6,7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-exo-1,4-exo-5,8-dimethanonaphthalene
88-85-7	Dinoseb	(RS)-2-sec-butyl-4,6-dinitrophenol
242506-1	Captafol	N-(1,1,2,2-Tetrachloroethylthio)cyclohex-4-ene-1,2-dicarboximide

944-22-9	Fonofos	(RS)-(O-ethylS-phenyl ethylphosphonodithioate)
----------	---------	--

Nota. Lista de sustancias prohibidas para importación, fabricación, registro, comercialización y uso en Colombia plaguicida. Tomado de: Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. <https://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/plaguicidas-prohibidos.aspx>.

El proceso de registro de agentes de control biológico (ACB) y bioplaguicidas, al igual que los pesticidas químicos, implica una evaluación de riesgos para la salud humana, animal y el medio ambiente. Esta evaluación es realizada por las autoridades competentes a partir de la documentación presentada por el solicitante. El proceso de registro, que incluye la generación de esta documentación, constituye una inversión significativa en el desarrollo de bioplaguicidas y se considera la principal barrera para su comercialización a nivel mundial. Los requisitos de registro para microorganismos biocontroladores se centran en su identificación y clasificación. Esto implica la necesidad de establecer métodos para aislar, cuantificar el microorganismo y determinar componentes químicos específicos. Además, se requiere información sobre la distribución de los hospederos, hábitats, nichos ecológicos, la presencia natural en el entorno y la estabilidad genética del microorganismo.

Colombia tiene una larga historia en el control biológico de plagas, que comenzó en la década de los sesenta con la importación de un bioplaguicidas a base de baculovirus desde Estados Unidos. Se utilizó para controlar plagas en cultivos de algodón. En 1982, las empresas de flores comenzaron a producir bioplaguicidas de origen biológico. Para registrar un bioinsumo agrícola, es necesario tener primero el registro como importador o productor ante el ICA [1].

Figura 3.

Marco regulatorio para el registro de bioplaguicida en Colombia

Elemento	Colombia
Marco Regulatorio	Resolución 698 de 2011.
Autoridades Regulatorias	Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Duración del Registro	Diez años (Renovable).
Inconvenientes	Concepto Toxicológico.
Periodo para la aprobación del registro	Cuatro años.
Costo aproximado	US \$4.000
Número de bioplaguicidas registrados (Oct 2017)	Alrededor de 245: 135 agentes microbianos, 61 inoculantes biológicos, 28 extractos vegetales y 2 productos bioquímicos.

Nota. Lista marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas en Colombia. Tomado de: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/23/14/305-1?inline=1>

Los residuos orgánicos de la semilla de aguacate en Colombia se pueden aprovechar de distintas maneras tales como: Aceites que son ricos en ácidos grasos esenciales y se utilizan en la industria cosmética y alimentaria. También se puede utilizar en alimentación para animales, esencialmente para ganado vacuno y porcino. Y por último se puede usar como abono orgánico ya que la semilla contiene fósforo, potasio y nitrógeno, ayudando a mejorar la calidad del suelo y estimular el crecimiento [62].

2. OBTENCIÓN DEL EXTRACTO SEMILLA DE AGUACATE

2.1. Recolección de semillas

La recolección de las semillas se realizó teniendo en cuenta unas características entre esas la apariencia del aguacate *Hass*, ya que si el aguacate seleccionado estaba más maduro y/o dañado la semilla en su interior puede experimentar distintos cambios y presentar distintas características tales como:

- Estado avanzado de la semilla, esto hace que cambie la textura.
- La excesiva humedad y deterioro puede causar el moho en la semilla.
- Signos de putrefacción en la semilla tales como ablandamiento en la misma.

Después de verificar que ninguna de las semillas no tenga ninguno de los signos que se mencionaron anteriormente se prosigue con lo siguiente:

- **Recolección y preparación de las semillas de aguacate:** Se realiza la debida elección de las semillas de aguacate, realizar la limpieza para que estas queden libres de impurezas. También se hace la debida selección de aguacates que no estén en la etapa de maduración tan avanzada.

Figura 4.

Aguacate maduro apto para hacer la recolección de semillas



Nota. Tomado de: LA GRANJA MARKET “AGUACATE HASS MADURO – lagranjamarket.com.co”.
lagranjamarket.com.co – Lo mejor del campo a tu mesa. Accedido el 30 de enero de 2024. [En línea].
Disponible: <https://lagranjamarket.com.co/index.php/product/aguacate-hass-ma>

Secado de semillas: Limpiar y secar las semillas para reducir el contenido de agua, es importante hacer esto para evitar proliferaciones de microorganismos.

- **Maceración:** Se realiza este paso teniendo todas las semillas, se maceran para que queden en tiras ya si sea más fácil realizar el extracto, para después de terminar tenerlas en el congelador ya que se oxidan muy fácilmente si están mucho tiempo al aire.

Al realizar este proceso se dejan las semillas ya trituradas en el congelador aproximadamente por 2 días para luego realizar la extracción de las semillas de aguacate *Hass*. Para tener la medida exacta del volumen que vamos a utilizar en el biofungicida se realiza una experimentación en donde se adiciono en 6 vasos de precipitado una porción de 100 gramos de la semilla de aguacate.

Figura 5.

Vasos de precipitado con la semilla macerada en el laboratorio



Nota. Experimentación vasos de precipitados con semilla de aguacate macerada.

Se realizan 3 soluciones con distinto volumen de agua y etanol. Las disoluciones consisten en: Vaso de precipitado con 70 mL de etanol y 30 mL de agua, vaso de precipitado con 50 mL de etanol y 50 mL de agua y por último vaso de precipitado con blanco de 100 mL de agua, a cada uno se le hace una maceración además y se tendrá en cuenta 3 vasos para 1 hora y 3 vasos para 2 horas.

Tabla 1.

Lista número de extracciones realizadas

#Experimento	Volumen Etanol	Volumen Agua	Tiempo
1	70 mL	30 mL	1 hora
2	70 mL	30 mL	2 horas
3	50 mL	50 mL	1 hora
4	50 mL	50 mL	2 horas
5	0 mL	100 mL	1 hora
6	0 mL	100 mL	2 horas

Nota. Extracciones realizadas en el laboratorio con distinto tiempo.

Al agregar estos solventes a la semilla de aguacate inmediatamente se cambia el color y se torna naranja:

Figura 6.

Vasos de precipitado con solventes y semilla macerada



Nota. Distintos solventes con semilla macerada.

Se agita manualmente hasta incorporar todo muy bien y como se muestra en la **Figura 7** las soluciones que tienen etanol muestran en la superficie unas pequeñas burbujas. Después de pasada 1 hora se filtran los primeros 3 y se pasan a unos vasos más pequeños para pasarlos a él rota vapor para hacer la debida separación del etanol de la solución resultante. Además,

las 3 maceraciones que se hicieron se dejan otra hora más para ver el cambio del color y ver los resultados también el rota vapor.

Figura 7.

Vasos precipitados con solventes previamente filtradas



Nota. Coloración de muestra con 1 hora de diferencia cada una.

En el proceso de extracción se lleva a cabo en el rota vapor en donde se ponen las muestras ya previamente filtradas y es importante que esta no tenga ningún residuo de la semilla de aguacate para que sea más eficiente el proceso de la extracción. Como fue una muestra más pequeña aproximadamente el proceso tuvo una duración de 15 a 20 minutos por las 4 muestras que se recuperaron siendo 2 de 1 hora y 2 de 2 horas. Durante el proceso de la extracción del etanol se puede ver el proceso de condensación ya que la muestra se pone muy

viscosa y al estar en contacto con agua a 50° C el proceso de condensación es mucho más efectivo y la separación es más efectiva.

Figura 8.

Rota vapor a 50° con muestra de etanol y agua



Nota. Muestra en rota vapor a 50° para hacer la separación del agua y el etanol.

Cuando se termina el proceso de la separación del etanol que termina en un balón la muestra disminuye y se vuelve un poco más oscura como se muestra en la **Figura 9**. La muestra que más disminuyó fue la del vaso de precipitado con 70 mL de etanol y 30 mL de agua con duración de 2 horas la cual tuvo una coloración mucho más oscura a comparación de la de 1 hora como se puede evidenciar en la **Figura 8** y tuvo una reducción aproximada del 50% en

cada una de las muestras, es decir la muestra más oscura nos muestra más presencia de polifenoles que la otra.

Figura 9.

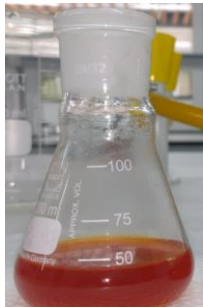
Vasos de precipitado con sustancia sin etanol


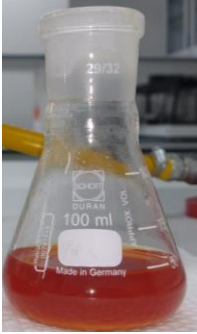
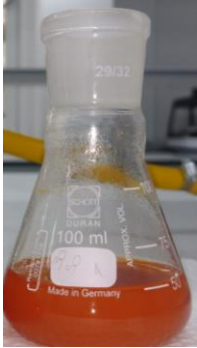


Nota. Muestra salidas del rota vapor.

Figura 10.

Extracto obtenido (Rota vapor)

#Experimento	mL resultantes - Color	Evidencia
# 1 (1 hora)	49 mL aproximados – Naranja claro.	

# 1 (2 hora)	51 mL aproximados – Naranja oscuro.	
# 2 (1 hora)	48 mL aproximados – Naranja oscuro.	
# 2 (2 hora)	50 mL aproximados – Naranja claro	

Nota. Extractos obtenidos después del rota vapor.

La muestra que contiene más presencia de polifenoles es la más apta para realizar el fungicida y se duplicara para tener 1000 mL de extracto con 600 mL de etanol al 96% y 400 mL de agua. Para esta muestra se necesitó de 1000 gramos de semilla triturada de aguacate *Hass* en un vaso de 1000 mL como se muestra en la **Figura 11**.

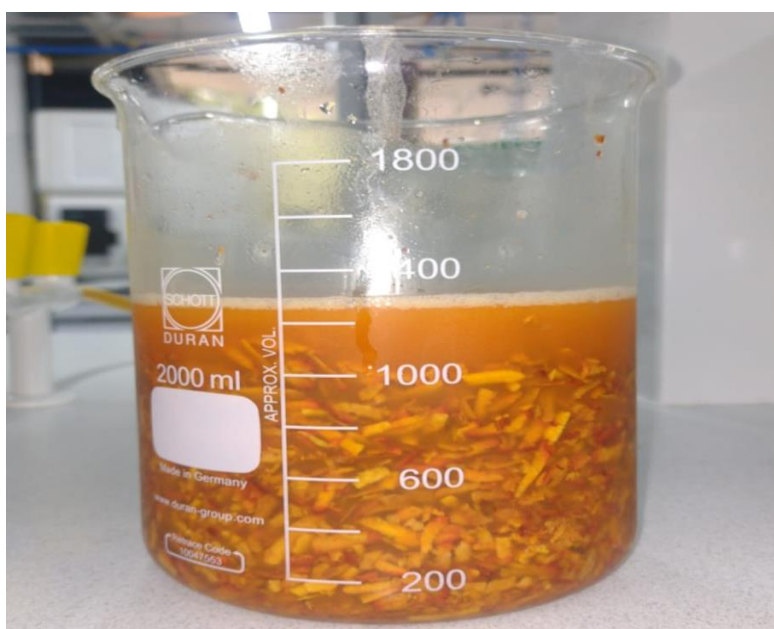
Figura 11.
Vasos de precipitado con etanol, agua y semilla de aguacate



Nota. Vasos precipitados con etanol, agua y semilla de aguacate.

Se tomo la mezcla en un vaso de precipitado de 2000 mL y se agita aproximadamente por 15 minutos y se deja reposar por 2 horas y se puede volver a observar la coloración que toma durante el tiempo. Tambien es importante recalcar que durante el proceso unos trozos de la semilla de aguacate pierden su tonalidad y se torna de color negro.

Figura 12.
Vaso de precipitado de 600mL etanol y 400 mL agua



Nota. Vaso con mezcla de agua y etanol.

Pasado el tiempo se filtra la muestra y se ponen en 2 balones de 500 mL para poder retirar el etanol de la misma, como el volumen de la muestra es mucho mayor a las pequeñas el proceso de extracción por método de condensación tuvo un tiempo de una hora y media por cada balón.

Figura 13.

Muestra previamente filtrada en balones de 500 mL



Nota. Muestra filtrada en balones de 500mL extracto.

Durante el proceso de extracción realizado en el rota vapor se vuelve a tomar la misma temperatura de 50° C y cuando está en el punto más alto de la condensación la muestra nos deja observar una capa de burbujas de tonalidad naranja durante todo el proceso. Estas muestras reducen aproximadamente unos 300 mL por cada balón, es decir se obtuvo finalmente 400 mL del extracto de la experimentación realizada. Este será caracterizado para las pruebas de inhibición de crecimiento del hongo *Fusarium oxysporum*. Es importante recalcar que el extracto estuvo en temperatura ambiente antes de su respectiva evaluación en las pruebas de laboratorio.

3. CARACTERIZAR EL CONTENIDO DE POLIFENOLES

Para esto es necesario tener 6 tubos de ensayo con su respectivo duplicado. En estos se utilizaron distintas concentraciones y después de dejar reposar por 1 hora se pasa al espectrofotómetro y se lee la muestra, siempre se tiene que tener en cuenta que si la absorbancia es mayor a 1.500 la muestra nuevamente se tiene que diluir hasta tener un valor aceptable por la máquina.

Figura 14.

Distintas soluciones en gradilla con micropipeta



Nota. Muestras con distintas concentraciones de ácido gálico.

El experimento se realizó con 6 tubos de ensayo, la gradilla en donde se colocan tiene que estar totalmente a oscuras, para lograr este efecto, con papel aluminio como se puede evidenciar en la **Figura 15** y en ese instante se ponen las distintas disoluciones las cuales eran 50 µl, 55 µl, 60 µl, 65 µl, 70 µl y 75 µl diluidas de extracto como se mencionó anteriormente. Cuando ya se tenga todo listo se agrega a los distintos tubos lo siguiente:

- 3950 µl de agua destilada
- 250 µl de reactivo Folin – Ciocalteu

Cuando se agrega lo anteriormente mencionado a cada tubo, se toma el tiempo de 2 minutos y se agrega el siguiente reactivo

- 750 μ l de carbonato de sodio al 20%.

Estos procedimientos se hacen con ayuda de una micropipeta. Luego de tener todas las soluciones en los 12 tubos se deja reposar durante 1 hora para leer la absorbancia de cada muestra. La primera muestra que se lee en el espectrofotómetro es a una escala de 750 nm y es un blanco en donde la muestra tiene un valor de 0.000. Las demás muestras se leen en el mismo valor de la escala y los resultados que nos dan se evidenciarán en la siguiente tabla:

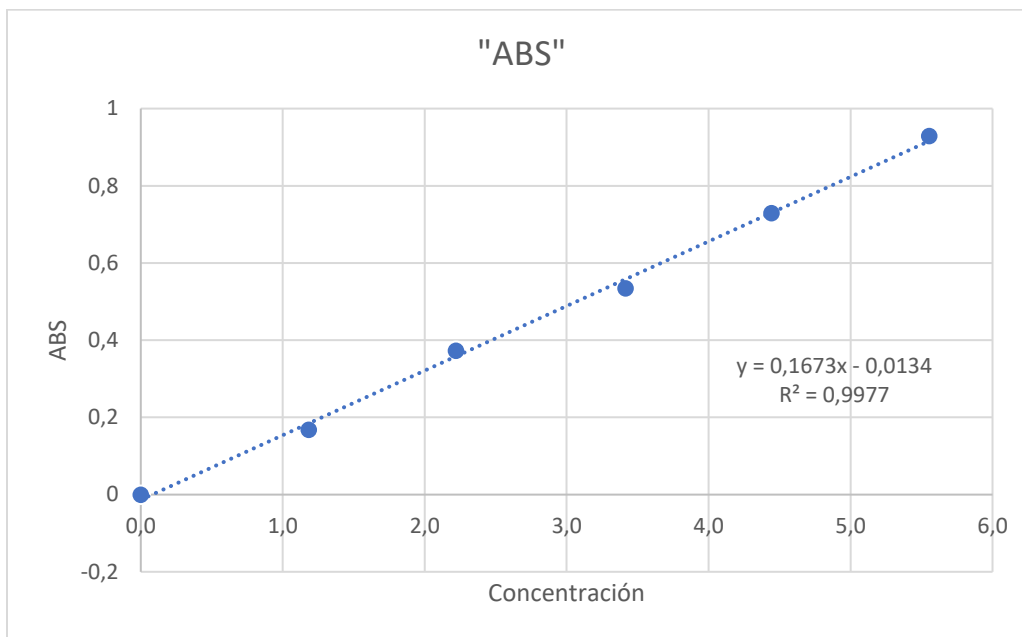
Tabla 2.
Distintas soluciones con reactivo Folin-Ciocalteu

Solución	Tiempo	Resultado (ABS)
50 μ l	1 hora	0.225
50 μ l (Duplicado)	1 hora	0.225
55 μ l	1 hora	0.189
55 μ l (Duplicado)	1 hora	0.190
60 μ l	1 hora	0.627
60 μ l (Duplicado)	1 hora	0.492
65 μ l	1 hora	0.518
65 μ l (Duplicado)	1 hora	0.434
70 μ l	1 hora	0.442
70 μ l (Duplicado)	1 hora	0.500
75 μ l	1 hora	0.230
75 μ l (Duplicado)	1 hora	0.235

Nota. Lista de soluciones con reactivo Folin – Ciocalteu

Para la curva de calibración se realiza el mismo procedimiento que se hizo anteriormente, pero se empleó el ácido gallico como se pueden observar en la **Figura 16**.

Figura 15.
Curva de calibración



Nota. Curva de calibración

La ecuación correspondiente a la curva es:

Ecuación 1. Hallar Concentración

$$ABS = 0,1673 * Concentración - 0,0134$$

Ecuación 2. Sumar absorbancia y dividirla

$$Concentración \left(\frac{g}{L}\right) = (ABS + 0,0134)/0,1673$$

Se tomo un punto de la absorbancia el cual es 0,2 y se calculara la cuantificación de los polifenoles presente en la muestra resultante:

Ecuación 3. Tomar punto de absorbancia en la muestra resultante

$$Concentración \left(\frac{g}{L}\right) = (0,2 + 0,0134)/0,1673$$

Dando un resultado de:

Ecuación 4. Resultado final Absorbancia

$$\text{Concentración } \left(\frac{g}{L}\right) = (0,2134)/0.1673$$

$$\text{Concentración } \left(\frac{g}{L}\right) = 1,2755$$

$$\text{Concentración} = 1,27 \rightarrow 1,28$$

La dilución del extracto se realizó haciendo una disolución 1:10 es decir 1 mL de extracto con 9 mL de agua. El extracto resultante después de pasar por el rota vapor es de 1.28.

En el artículo que lleva por nombre “*Polifenoles de diferentes fuentes vegetales y su efecto in vitro contra patógenos del garbanzo*” escrito por Ivón Alejandra Rosas Jauregui, Francisco Daniel Hernández Castillo, Lissethe Palomo Ligas, Saira Roció Martínez Alemán, Juan Alberto Ascacio Valdés, Raúl Rodríguez Herrera en donde los polifenoles probados in vitro fueron curcumina, ácido ferúlico, ácido gálico y silimarina. Se probaron tres concentraciones (125, 250 y 500 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) con y sin nanopartículas de plata (AgNP) y se observaron diferencias significativas en la inhibición del crecimiento micelial con valores de CE50 y CE90 que oscilaban entre 171 y 373,6 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ y 446,2-963,7 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, respectivamente, mientras que se observó un mejor rendimiento con formulaciones a base de ácido ferúlico con AgNPs y silimarina sin nAg. Los resultados obtenidos muestran que la adición de AgNP, a pesar de su efecto antimicrobiano, no siempre conduce a una sinergia.

4. EVALUAR EL FUNGICIDA POR MEDIO DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EVALUAR SU EFECTIVIDAD

La evaluación in vitro de las actividades fungicidas del extracto implica realizar pruebas en condiciones de laboratorio para determinar la capacidad del extracto para inhibir el crecimiento o la viabilidad de hongo *Fusarium oxysporum*, esta se adquirió de la colección de Microorganismos de la Pontificia Universidad Javeriana (CMPUJ). En donde por medio de una solicitud a la colección se transfiere el microorganismo que cuenta con bacterias y hongos con finalidad netamente investigativa o educativa. De la lista de microorganismos el hongo requerido era el CMPUJH035 *F. oxysporum*.

En cajas de Petri se dispuso PDA junto con distintas concentraciones del extracto. El medio PDA se preparó en 4 Erlenmeyer de 250 mL y 1 Erlenmeyer de 100 mL con diferentes disoluciones mezclando el extracto resultante de la maceración de la pepa de aguacate y agua destilada siendo las siguientes: 40 mL de extracto puro, 28 mL Extracto puro y 12 mL de agua, 20 ml de extracto puro y 20 ml de agua y por último 40 mL de agua que se midieron con probetas de 50 mL.

Tabla 3.

Lista de experimentos y cantidad de extracto administrado en cada caja petri

# Experimento	mL extracto	mL agua
100% Extracto	40 mL	0 mL
70% Extracto	28 mL	12 mL
70% Extracto (Duplicado)	28 mL	12 mL
50% Extracto	20 mL	20 mL
50% Extracto (Duplicado)	20 mL	20 mL

20% Extracto	18 mL	22 mL
20% Extracto (Duplicado)	18 mL	22 mL
0% Extracto	0 mL	40 mL
0% Extracto (Duplicado)	0 mL	40 mL

Nota. Lista experimentos y cantidad de extracto administrado a cada caja de Petri.

Para saber la cantidad de PDA que se tiene que agregar en cada solución se toma la siguiente formula:

Ecuación 1. Formula para PDA cantidad que se necesita

$$\frac{\text{Mililitros que se necesitan} \rightarrow \text{Gramos que indican}}{\text{Mililitros que se necesita para las cajas de petri} \rightarrow ?}$$

Para las distintas soluciones que se mencionaron antes se realiza este cálculo y se determinó que los gramos utilizados es 3 gramos

Ecuación 2. Despejar ecuación con los valores

$$\frac{1000 \text{ mL} \rightarrow 39 \text{ g}}{78 \text{ mL} \rightarrow ?}$$

Para que el resultado quede en gramos se cancelan los mililitros:

Ecuación 3. Multiplicación y cancelación de mL

$$78 \text{ mL} \times 39 \text{ g} = 3,0 \text{ g}$$

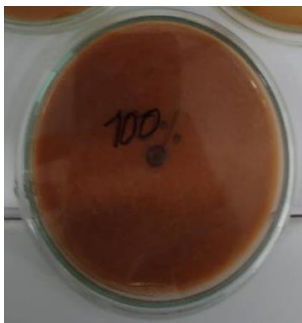
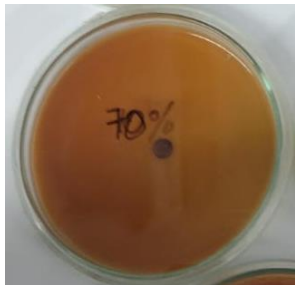
3 gramos es lo que se va a agregar en cada solución para pasar todo a la autoclave que consiste en 100% extracto, 70% extracto, 50% extracto, 20% extracto y por último el blanco, a cada caja de Petri se le realizo un duplicado en donde en total se obtuvieron 9 cajas con el extracto.






Para la esterilización se utiliza la autoclave durante 15 minutos a 15 psia. Al finalizar el ciclo de esterilización se extraen las muestras con el PDA y los demás elementos que se utilizaron como las 9 cajas de Petri, las asas y las puntas azules. Después de unos minutos se enfrían las muestras con agua para que tengan una temperatura media para que no se gelifique la muestra.



Para servir el PDA en las cajas Petri lo hacemos dentro de la cabina de flujo, se verte el agar y aproximadamente en 5 minutos se gelifica en esta y sobre esta se deposita un disco del hongo *Fusarium oxysporum* en la mitad para observar el crecimiento del hongo durante el control.

Figura 16.

Número de muestra y las distintas concentraciones

# Experimento	Crecimiento 7 días
100% Extracto	
70% Extracto	

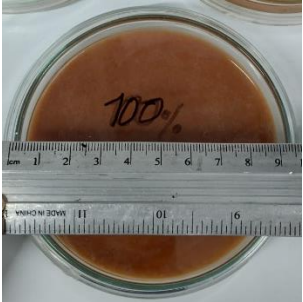
70% Extracto (Duplicado)	 A petri dish containing a light brown, opaque liquid. The text "70%" is handwritten in black ink in the center of the dish.
50% Extracto	 A petri dish containing a light brown, opaque liquid. The text "50%" is handwritten in black ink in the center of the dish.
50% Extracto (Duplicado)	 A petri dish containing a light brown, opaque liquid. The text "50%" is handwritten in black ink in the center of the dish.
20% Extracto	 A petri dish containing a light brown, opaque liquid. The text "20%" is handwritten in black ink in the center of the dish.
20% Extracto (Duplicado)	 A petri dish containing a light brown, opaque liquid. The text "20%" is handwritten in black ink in the center of the dish.





0% Extracto	
0% Extracto (Duplicado)	

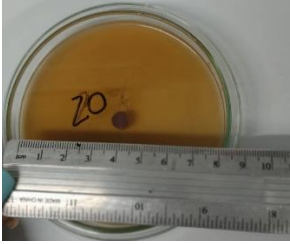



Nota. Número de experimentos realizados y concentración de extracto.

En la caja control (PDA) el hongo *Fusarium oxysporum* creció de manera exitosa durante los 7 días, en cambio en las cajas Petri y sus duplicados se pudo observar que este no creció, en la siguiente tabla se mostrará que tanto creció en la caja con agar:

Figura 17.
Crecimiento del hongo durante 7 días

# Experimento	Crecimiento (CM)
100% Extracto	 <p data-bbox="847 1654 1237 1688">Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>

<p>70% Extracto</p>	 <p>Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>
<p>70% Extracto (Duplicado)</p>	 <p>Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>
<p>50% Extracto</p>	 <p>Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>
<p>50% Extracto (Duplicado)</p>	 <p>Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>

20% Extracto	 <p data-bbox="846 464 1239 495">Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>
20% Extracto (Duplicado)	 <p data-bbox="846 823 1239 854">Crecimiento de 0 cm en 7 días</p>
0% Extracto	 <p data-bbox="834 1203 1250 1234">Crecimiento de 7,5 cm en 7 días</p>
0% Extracto (Duplicado)	 <p data-bbox="846 1583 1239 1614">Crecimiento de 7 cm en 7 días</p>

Nota. Número de experimentos realizados y crecimiento en 7 días.

Según el artículo que lleva por nombre “Estudio de la actividad antifúngica in vitro de materiales compuestos basados en complejos de inclusión de polifenoles contra *Phytophthora Cinnamomi*” desarrollado por Petruta Mihaela Matei, Laura Buzón-Durán, Eduardo Pérez-Lebeña, Jesús Martín-Gil, Beatrice Michaela Iacomì, M. Carmen Ramos-Sánchez, Pablo

Martín-Ramos nos da a conocer la cepa *Phytophthora cinnamomi* que se mantuvo se mantuvo aislada en tubos de ensayo en medio agar papa dextrosa (PDA) mantenido a 4 °C. La actividad biológica de los materiales compuestos se determinó mediante el método de dilución en agar: se agregaron alícuotas de soluciones madre de diferentes tratamientos al medio PDA para obtener concentraciones finales de 125, 250 y 500 µg. Luego se sembraron placas de micelio patógeno (8 mm de diámetro) retiradas de los bordes del cultivo de 7 días en placas de PDA utilizando placas que contenían sólo medio PDA como control. Se realizaron tres réplicas por tratamiento. Inhibición del crecimiento micelial (o potencia del compuesto de prueba) en cada tratamiento y concentración después de 7 días de incubación en la oscuridad. Dando un resultado de 0 crecimiento.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Del análisis de datos experimentales obtenidos del extracto de semilla de aguacate **Hass** se destacan importantes hallazgos. La diferencia porcentual inicial y el diferente color aportan información valiosa para entender el proceso. Es importante señalar que la muestra 2, que se replicó para obtener 1000 ml de extracto, se eligió específicamente por su tiempo de extracción de 2 h como se describe. Este fenómeno puede explicarse por su menor polaridad en comparación con el agua. lo que indica una mayor afinidad por los compuestos fenólicos extraíbles y el material vegetal procesado. La literatura apoyada en estudios previos como Muñoz et al. (2015) apoyan esta conclusión porque varios informes muestran que la concentración de extractos fenólicos varía dependiendo de la polaridad de los solventes utilizados. Este hallazgo no solo proporciona una explicación lógica para la diferencia en color y porcentajes obtenidos, sino que también resalta la importancia de la selección de solventes en el proceso de extracción. Desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, esta información puede ser importante para optimizar futuros procesos de extracción, minimizar el uso de solventes y maximizar la eficiencia en la obtención de compuestos fenólicos. Además, considerando la menor polaridad del disolvente utilizado, es posible investigar cómo este enfoque puede contribuir a una estrategia más sostenible para el uso de residuos agrícolas. La eficiencia de extracción de compuestos fenólicos, conocidos por sus propiedades antioxidantes y beneficios ambientales, puede respaldar la creación de un proceso más ecológico y ambientalmente sostenible. El análisis de datos experimentales no solo proporciona información sobre el rendimiento del proceso de extracción, sino que también abre oportunidades para optimizar la eficiencia y avanzar hacia prácticas más sostenibles en el campo de la ingeniería ambiental explotando estratégicamente la polaridad de los disolventes [64].

Al caracterizar los polifenoles, es importante reconocer la importante variabilidad que puede deberse a diversos factores como la madurez del fruto, las condiciones de crecimiento y los métodos de extracción utilizados. Este análisis se vuelve importante para comprender la complejidad de los compuestos fenólicos en las semillas de aguacate *Hass*. La observación de un tono marrón a azul en las mediciones de absorbancia después de una hora de abandonar

la muestra revela aspectos interesantes de la composición de los polifenoles. Una referencia a un estudio de Agricultura y Medio Ambiente (2020) que atribuyó el color azul a la presencia de taninos y fenoles en las muestras resalta la importancia de estos compuestos fenólicos solubles en agua. Hacer duplicados y presentar los resultados proporciona una base sólida para la coherencia y validez de los resultados. Tras pasar por el rotavapor, la concentración de polifenoles en el extracto resultante se fija en 1,28. La comparación de estos valores con rangos de medición normales entre 1,161 y 2,384, promedio 1,28 [63] da una comprensión clara de la calidad y cantidad de polifenoles extraídos. Esta información es crucial para la ingeniería ambiental porque ayuda a determinar la eficiencia del proceso minero y su potencial impacto ambiental. La mención del color naranja en los extractos de semillas de aguacate añade una nueva capa de complejidad, sugiriendo la presencia de varios compuestos como carotenoides y otros pigmentos naturales. Esta perspectiva visual resalta la riqueza y diversidad de las composiciones de semillas que pueden influir tanto en la utilización de residuos como en la búsqueda de aplicaciones sostenibles. La caracterización de polifenoles en semillas de aguacate se presenta como un área de investigación apasionante y versátil donde comprender la variabilidad y la identificación precisa de compuestos facilitará un cambio hacia prácticas de ingeniería ecológica más informadas y sostenibles. Algunos compuestos fenólicos y pigmentos que están presentes son los siguientes [65]:

- **Carotenoides:** Los carotenoides son pigmentos naturales que van desde el amarillo hasta el rojo y naranja. Algunos aguacates contienen carotenoides en la pulpa y en la semilla. La variedad de carotenoides presentes en la semilla puede contribuir al color naranja.
- **Clorofila y clorofilina:** Aunque la clorofila, responsable del color verde en las plantas, es más abundante en la pulpa del aguacate, la semilla puede contener clorofila y sus derivados, como la clorofilina, que pueden contribuir a la coloración.
- **Polifenoles:** Los polifenoles, incluyendo flavonoides y taninos, son compuestos fenólicos que pueden tener propiedades antioxidantes y contribuir a la coloración de extractos vegetales.

- Antocianinas: Estos pigmentos pueden presentar colores que van desde el rojo hasta el azul, y aunque no son típicos en la semilla de aguacate, su presencia ocasional podría influir en la coloración.

La composición específica de compuestos fenólicos en extractos de semilla de aguacate puede variar según la variedad de aguacate, el método de extracción y las condiciones de crecimiento [65].

Durante el proceso de evaluación de fungicida para determinar su efectividad se determinó que tiene eficiencia desde 100% de extracto puro hasta 20% de extracto puro diluido con agua. Durante los 7 días en donde se dejó a 30° se evidencia que las 7 cajas petri que tenían el extracto y el hongo no tuvo crecimiento en comparación a la caja que tenía el PDA la cual en cada caja tuvo un crecimiento de 7 CM, es decir 1 CM por día.

Figura 18.
Hongo Fusarium Oxysporum



Nota. Hongo fusarium oxysporum

Con los datos obtenidos en la revista de investigación agraria y ambiental del año 2020 respecto a la actividad antifúngica, obtuvieron 30 y 70% de inhibición frente las

concentraciones de la semilla de la vaina. Los resultados dan viabilidad a la realización de estudios in vivo en invernaderos, controlando ciertas variables *Fusarium graminearum* [66].

La semilla de aguacate, además de los compuestos fenólicos, contiene otros compuestos que han mostrado tener propiedades fungicidas. Algunos compuestos son:

- Aceites esenciales: La semilla de aguacate contiene aceites esenciales que pueden tener propiedades antifúngicas. Estos aceites pueden ser extraídos de la semilla y utilizados para combatir ciertos tipos de hongo
- Ácido abscísico: Este compuesto se ha identificado en la semilla de aguacate y ha mostrado tener actividad antifúngica. El ácido abscísico es una fitohormona que regula diversos procesos en las plantas, incluyendo respuestas a estrés, y puede tener efectos inhibidores sobre el crecimiento de hongos.
- Saponinas: Algunas saponinas presentes en la semilla de aguacate han mostrado actividad antifúngica. Las saponinas son compuestos que tienen propiedades detergentes y, en algunos casos, pueden afectar la membrana celular de los hongos.
- Taninos: Además de ser compuestos fenólicos, los taninos presentes en la semilla de aguacate también pueden tener propiedades antifúngicas. Los taninos interactúan con las proteínas y pueden interferir con la función celular de los hongos.

La preferencia por el uso de biofungicidas en lugar de fungicidas tradicionales presenta una serie de beneficios significativos en términos de sostenibilidad, preservación del entorno y reducción de impactos adversos tales como [67]:

- Los biofungicidas derivados de compuestos naturales son menos tóxicos y persistentes en el medio ambiente en comparación con los fungicidas químicos tradicionales.

Esto reduce el riesgo de acumulación de residuos tóxicos en el suelo y los cuerpos de agua, salvando así la calidad del medio ambiente.

- La acción más específica de los biofungicidas minimiza los efectos sobre organismos no objetivo, como insectos beneficiosos y microorganismos del suelo. Promueve la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas y preserva el equilibrio de la naturaleza.
- Debido a que los biofungicidas son más selectivos, pueden reducir el riesgo de que se desarrolle resistencia a los patógenos. Esto promueve prácticas agrícolas sostenibles a largo plazo mientras se mantiene la eficiencia del tratamiento.
- La adopción de estos en sistemas agrícolas promueve prácticas más sostenibles al reducir la dependencia de productos químicos. Esto contribuye a la gestión responsable de los recursos naturales y a la creación de sistemas agrarios más equilibrados.
- La acción específica de los biofungicidas significa que se necesita menos producto para controlar las enfermedades. Esto reduce los residuos químicos en los cultivos, lo que mejora la calidad y seguridad de los productos agrícolas.
- Como producto natural, los biofungicidas son compatibles con los principios de la agricultura orgánica. Esto amplía las opciones para los agricultores que buscan prácticas más ecológicas que satisfagan las demandas de los consumidores.
- Algunos biofungicidas pueden tener un efecto positivo en la salud del suelo al promover una actividad microbiana beneficiosa. Promueve la fertilidad y estructura del suelo, lo cual es esencial para un ambiente agrícola saludable.

- El uso de biofungicidas cumple con los principios del desarrollo sostenible, promoviendo prácticas agrícolas económicamente viables, socialmente justas y ambientalmente sostenibles.

La introducción de biofungicidas en la agricultura representa un cambio decisivo hacia prácticas más sostenibles y una respuesta eficaz a los desafíos agrícolas actuales. Estos productos no sólo protegen el medio ambiente, sino que también reducen los riesgos para la salud y desempeñan un papel importante en la seguridad alimentaria a largo plazo. Su eficacia se basa en la sinergia de determinadas acciones, una baja toxicidad y una excepcional adaptación a los métodos terapéuticos. La esencia del uso de biofungicidas es su capacidad para tratar problemas de patología vegetal de forma selectiva y sin los efectos adversos de los fungicidas químicos convencionales. Esta elección promueve la salud del suelo y la biodiversidad al tiempo que minimiza los impactos ambientales negativos. La baja toxicidad de los biofungicidas los convierte en una opción segura para agricultores y consumidores. Esta propiedad es fundamental desde el punto de vista de la ingeniería ambiental, porque tiene como objetivo reducir la carga de contaminantes químicos en el entorno agrícola y, en última instancia, en la cadena alimentaria. La adaptabilidad de los biofungicidas a diferentes métodos de manejo agrícola les otorga una versatilidad única. Pueden integrarse eficazmente en los sistemas agrícolas existentes, facilitando la transición hacia enfoques más sostenibles sin reducir la productividad. Esta capacidad de integración respalda la visión de los ingenieros ambientales de diseñar sistemas agrícolas que sean económicamente viables, socialmente justos y ambientalmente sostenibles. La introducción de biofungicidas es un hito importante en la tecnología agroambiental, porque no sólo proporciona soluciones efectivas para el control de enfermedades, sino que también promueve la armonía entre la producción agrícola y la protección ambiental. Este enfoque holístico refleja la responsabilidad y el compromiso de los ingenieros ambientales con prácticas agrícolas más sostenibles y justas. [68].

La viabilidad excepcional de los biofungicidas está respaldada por varias propiedades especiales que los distinguen de sus homólogos químicos. Su importante sostenibilidad medioambiental se expresa, sobre todo, en su origen natural, que contribuye a minimizar los

efectos medioambientales característicos de los productos químicos sintéticos. Este enfoque es consistente con la visión de la ingeniería ambiental, que tiene como objetivo promover prácticas agrícolas ecológicas y económicamente viables. Una característica excelente es la especificidad de la actividad de los biofungicidas. Su capacidad para atacar selectivamente patógenos específicos, como *Fusarium oxysporum* en las plantas de solanáceas, subraya su eficacia sin afectar negativamente a los organismos no objetivo. Esta selectividad minimiza los efectos secundarios sobre la biodiversidad y contribuye a la preservación del equilibrio natural en el agroecosistema. La eficacia y selectividad de los biofungicidas también pueden estar asociadas con una menor probabilidad de que se desarrolle resistencia a patógenos. Esta característica es importante para la sostenibilidad a largo plazo, ya que reduce la dependencia continua de productos químicos y promueve prácticas agrícolas más equilibradas. El enfoque de los biofungicidas no se trata sólo de la eficacia del control de enfermedades, sino que también cumple con los principios de la ingeniería ambiental al minimizar el uso de productos químicos sintéticos en la agricultura. Esta estrategia contribuye al mantenimiento de la calidad del suelo, el agua y la salud de los ecosistemas agrícolas, promoviendo así sistemas agrícolas más sustentables y sostenibles. La rentabilidad de los biofungicidas surge de su enfoque holístico hacia la sostenibilidad ambiental, su selectividad y su contribución a la conservación de la biodiversidad. Estas características clave reflejan el compromiso de Ingeniería Ambiental de encontrar soluciones agrícolas innovadoras y respetuosas con el medio ambiente. [69]

Se discutió la eliminación de residuos en relación con el cultivo de aguacate, comparando los efectos ambientales de los pesticidas tradicionales con la eliminación de residuos tales como:

Valorización de residuos:

- Desarrollo sostenible: El uso de residuos es una parte clave de la práctica agrícola sostenible. Un ingeniero ambiental puede centrarse en la sostenibilidad y desempeñar un papel fundamental en el diseño e implementación de estrategias para maximizar la eficiencia de los recursos y reducir los residuos.

- **Gestión eficaz:** la capacidad de reciclar residuos agrícolas, como los residuos de aguacate, es importante. Los ingenieros ambientales pueden participar en el diseño y desarrollo de sistemas que promuevan la reutilización y el reciclaje de materiales y así contribuir a la minimización de la generación de residuos.

Impactos Ambientales:

- **Evaluación del ciclo de vida:** los ingenieros ambientales están capacitados para realizar evaluaciones del ciclo de vida, que permiten comparar diferentes prácticas agrícolas en términos de su impacto ambiental. En este caso, podrían evaluar la huella ambiental de los pesticidas convencionales en comparación con las prácticas de recuperación de residuos.
- **Mitigación:** Teniendo en cuenta los efectos ambientales negativos del uso tradicional de pesticidas, un ingeniero ambiental puede proporcionar alternativas más sostenibles y desarrollar soluciones para mitigar los efectos negativos sobre el suelo, el agua y la biodiversidad.

Un ingeniero ambiental desempeña un papel clave en la incorporación de enfoques sostenibles en la gestión agrícola, abordando cuestiones como la gestión de residuos y la evaluación del impacto ambiental para promover prácticas agrícolas más sostenibles y socialmente responsables, tales como:

- **Gestión de recursos naturales:** El aprovechamiento de residuos es compatible con la gestión sostenible de los recursos naturales. Los ingenieros ambientales pueden liderar iniciativas para optimizar el uso de los recursos y garantizar que los residuos se conviertan en un recurso valioso en lugar de basura.
- **Participación comunitaria:** al considerar los impactos sociales, los ingenieros ambientales pueden facilitar la participación comunitaria en la toma de decisiones

relacionadas con las prácticas agrícolas. La comunicación eficaz y la comprensión de las cuestiones locales son habilidades valiosas en este contexto.

- Desarrollo de políticas: Los ingenieros ambientales pueden participar en el desarrollo e implementación de políticas que promuevan prácticas agrícolas sostenibles y la gestión de residuos. Esto requiere trabajar con gobiernos, empresas y comunidades para crear regulaciones ambientales efectivas.

6. CONCLUSIONES

Es importante evaluar el biopesticida contra *Fusarium oxysporum* derivado de semillas de aguacate *Hass*. La confirmación de una reducción significativa en la incidencia de hongos en las plantas de solanáceas respalda firmemente la eficacia de este biofungicida. Este resultado no sólo promete una gestión eficaz de las enfermedades agrícolas, sino que también sugiere la viabilidad de prácticas más sostenibles. Una evidencia adicional de que el producto no causa daño ambiental ni afecta a organismos no objetivo refuerza su idoneidad como una alternativa amigable con el medio ambiente a los pesticidas químicos convencionales. Este artículo aborda aspectos medioambientales y enfatiza la importancia de avanzar hacia soluciones agrícolas más respetuosas con el medio ambiente. La confirmación final de la eficacia de los biopesticidas en condiciones reales se realizará en ensayos de campo más amplios. Estas pruebas prácticas son cruciales para garantizar que los prometidos resultados obtenidos en entornos controlados se transfieran con éxito a situaciones agrícolas reales. En conjunto, estos hallazgos respaldan el estatus de los biopesticidas como una herramienta valiosa y sostenible para el control de enfermedades agrícolas.

La evaluación del extracto de semilla de aguacate *Hass* como fungicida mostró una eficacia significativa para inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum*, lo que indica un potencial prometedor en el control de enfermedades de los cultivos. La comparación de su eficacia con los fungicidas químicos tradicionales resalta los beneficios ambientales inherentes, como la reducción del impacto en los ecosistemas y la reducción de la resistencia a los patógenos. Este extracto es una alternativa sostenible que utiliza subproductos de la industria del aguacate que promueve la gestión responsable de residuos y reduce la dependencia de fungicidas químicos. El uso de subproductos agrícolas para desarrollar soluciones fitosanitarias adapta este enfoque a los principios de sostenibilidad, minimiza la huella ambiental y promueve prácticas agrícolas más ecológicas. La actividad antifúngica del extracto de semilla de aguacate *Hass* no solo resalta su potencial para el control de patógenos, sino que también enfatiza su importancia ambiental en la promoción de la sostenibilidad agrícola a través de la reutilización de desechos y la reducción de la dependencia química.

La exitosa cuantificación de polifenoles en el extracto de aguacate *Hass* confirma firmemente la presencia significativa de estos compuestos, apoyando la hipótesis inicial y confirmando la abundancia de componentes orgánicos en la muestra. Los métodos utilizados demostraron ser muy eficaces y dieron resultados precisos y fiables sobre el contenido y la composición de polifenoles en el extracto. Este hallazgo se vuelve particularmente importante cuando se consideran las propiedades antioxidantes asociadas con los polifenoles. La conclusión puede confirmar significativamente la relación directa entre el contenido Polifenólicos del extracto y la actividad antioxidante. Esta relación no sólo plantea la importancia del extracto de semilla de aguacate en la promoción de la salud, sino que también resalta su potencial como fuente de compuestos útiles en la industria alimentaria y en la elaboración de productos naturales con propiedades antioxidantes .La exitosa cuantificación de polifenoles en el extracto de aguacate *Hass* no solo confirma la abundancia de compuestos orgánicos, sino que también proporciona un puente importante entre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante del extracto, proporcionando información valiosa desde una perspectiva ambiental. diseño.

La evaluación del fungicida en pruebas de laboratorio destaca su impresionante eficacia para prevenir el crecimiento y la propagación de *Fusarium oxysporum*. La confirmación de su actividad antifúngica en concentraciones que oscilan entre el 20% y el 100% del extracto subraya su versatilidad y solidez en la lucha contra los hongos patógenos. Este fungicida es una solución prometedora para la agricultura, ya que proporciona un control eficaz y controlado de patógenos. El posible uso del fungicida en escenarios agrícolas reales se considera una realidad en base a su eficacia probada en laboratorio. Esta aplicación práctica puede realizarse centrándose en el manejo sostenible de plagas, reduciendo la dependencia de fungicidas químicos y minimizando así los efectos ambientales negativos. La eficacia probada del fungicida en el laboratorio subraya su potencial para ser una herramienta valiosa en la tecnología agroambiental. Esto no sólo proporciona una solución controlada y eficaz para controlar los hongos patógenos, sino que también apunta a un futuro más sostenible para la agricultura al reducir la carga ambiental asociada con los métodos tradicionales de control de plagas.

El uso de biofungicidas en la agricultura no sólo promueve la protección de las plantas, sino que también tiene un impacto ambiental positivo, contribuyendo a un sistema agrícola más equilibrado y sostenible. Este enfoque es un importante paso adelante cuando se consideran cuidadosamente los efectos ambientales en la selección de métodos de control de enfermedades. El cambio a los biofungicidas enfatiza la importancia de adoptar prácticas agrícolas más naturales y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque tiene varias ventajas importantes para la salud de los cultivos, los suelos, las masas de agua y los agricultores. Al reducir la dependencia de los pesticidas químicos, los biofungicidas reducen la contaminación del suelo y del agua y, por tanto, protegen la biodiversidad y la calidad de los recursos naturales. Este paradigma también promueve la salud de los agroecosistemas en general al promover la regeneración del suelo y la conservación de la biodiversidad. Al minimizar la exposición a productos químicos sintéticos, se crea un equilibrio más armonioso entre los cultivos y su medio ambiente, reduciendo los efectos negativos asociados con las prácticas agrícolas tradicionales. En resumen, se puede afirmar que la introducción de biofungicidas en la agricultura desde un punto de vista técnico ambiental es una transición esencial hacia sistemas agrícolas más sostenibles. Este enfoque holístico no sólo garantiza la productividad agrícola, sino que también preserva la salud ambiental y la sostenibilidad a largo plazo de los agroecosistemas.

REFERENCIAS

- [1] “Fusarium R4T,” ICA, <https://www.ica.gov.co/icacomunica/pyp/fusarium-r4t> (accessed Nov. 22, 2023).
- [2] “Marchitez Vascular: Koppert España,” Koppert, <https://www.koppert.es/retos/control-de-las-enfermedades/marchitez-vascular/#:~:text=El%20Fusarium%20oxysporum%20es%20el,Fusarium%20solo%20producen%20esporas%20asexuales>. (accessed Nov. 22, 2023).
- [3] Solanaceas- scielo, <http://www.scielo.org.co/pdf/rcg/v25n2/v25n2a15.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [4] "Los huesos de aguacate podrían ayudar en el tratamiento de las enfermedades de la piel - Redagícola Colombia". Redagícola Colombia. <https://www.redagricola.com/co/los-huesos-de-palta-podrian-ayudar-en-el-tratamiento-de-las-enfermedades-de-la-piel/#:~:text=se%20consumen%20más%20de%201.224,activa%20que%20contamina%20el%20suelo>. (accedido el 10 de marzo de 2023).
- [5] “Tesis aprovechamiento del aguacate como colorante y aceite para un producto cosmetico,” Universidad De Manizales, 2017, [Online]. Available: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3150/Tesis%20Aprovechamiento%20del%20aguacate%20como%20colorante%20y%20aceite%20para%20un%20producto%20cosmetico.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [6] Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. [https://www.ica.gov.co/getattachment/de9f2f66898a-45b8-848d-0c49a23ca70c/manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-lulo-](https://www.ica.gov.co/getattachment/de9f2f66898a-45b8-848d-0c49a23ca70c/manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-lulo) (accedido el 2 de marzo de 2023).
- [7] "Frutas Tropicales - Producción Agrícola". VicerrectorÃa de Docencia | Universidad de Antioquia. <http://huitoto.udea.edu.co/FrutasTropicales/lulo.html> (accedido el 2 de marzo de 2023).

- [8] “Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (solanum quitoense lam.) en colombia: Revista de investigación agraria y ambiental,” Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (Solanum quitoense LAM.) en Colombia | Revista de Investigación Agraria y Ambiental, <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4641/5557#:~:text=El%20cultivo%20de%20lulo%20ha,et%20al.%2C%202021>). (accessed Nov. 22, 2023).
- [9] Redalyc.revisión del estado del conocimiento sobre la función ..., <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945027004.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [10] C. colombiana de investigación agropecuaria, “Agrosavia - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria,” Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia, <https://repository.agrosavia.co/> (accessed Nov. 22, 2023).
- [11] Tulio César lagos burbano I.A., dr. Mejoramiento Genético de Lulo, <https://sired.udenar.edu.co/7331/1/lulo.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [12] Generalidades sobre el cultivo de Lulo - Fontagro, <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/02/Generalidades-sobre-el-Cultivo-de-Lulo.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [13] P. M. Manuel Megías, “Atlas de histología vegetal y animal,” Histología vegetal. Tejidos de protección. Atlas de Histología Vegetal y Animal, https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada_v_proteccion-c.php (accessed Nov. 22, 2023).
- [14] Redalyc. Determinación del Punto óptimo de cosecha en el lulo (solanum ..., https://www.redalyc.org/pdf/1803/Resumenes/Resumen_180317823005_1.pdf (accessed Nov. 23, 2023).
- [15] FrutihelenMarketing, “Pulpa de Lulo,” Frutihelen, <https://frutihelen.com/pulpa-de-lulo/#:~:text=La%20pulpa%20de%20lulo%20es,la%20lulada%20o%20el%20cham%20p%20C3%20BAs> (accessed Nov. 22, 2023).

- [16] Manejo fitosanitario Del - ICA, [https://www.ica.gov.co/getattachment/de9f2f66-898a-45b8-848d-0c49a23ca70c/manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-lulo-\(solanum.aspx](https://www.ica.gov.co/getattachment/de9f2f66-898a-45b8-848d-0c49a23ca70c/manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-lulo-(solanum.aspx) (accessed Nov. 23, 2023).
- [17] El lulo y sus potencialidades en el desarrollo agrícola regional, <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6881/T05018.pdf?sequence=1> (accessed Nov. 23, 2023).
- [18] E. Marulanda Arango, S. Sandoval Duarte, D. Serrano Cárdenas, and A. Torres Galeano, “Estudio de viabilidad para exportar lulo a estados unidos,” Principal, <https://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/2946> (accessed Nov. 22, 2023).
- [19] Identificación y control del oídio, <https://www.gardentech.com/es/disease/powdery-mildew#:~:text=El%20o%C3%ADdio,El%20o%C3%ADdio,en%20condiciones%20secas%20y%20c%C3%A1lidas.> (accessed Nov. 22, 2023).
- [20] “ANTRACNOSIS - Enfermedades de los manzanos - Diputación Foral de Gipuzkoa”. ORAIN Gipuzkoa. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.gipuzkoa.eus/es/web/sagarrondoak/-/antraknos-1>
- [21] Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/437/43761812020/html/>
- [22] “Plagas y enfermedades en el cultivo del plátano: conozca las principales | BASF”. Landwirtschaft Deutschland. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/plagas-enfermedades-banano.html>
- [23] “Los enemigos naturales de los pulgones. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario”. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=4811#:~:text=Los%20pulgones%20son%20insectos%20de,reproducirse%20tanto%20sexual%20como%20asexualmente.>

- [24] “Moscas de la Fruta y del Botón Floral”. [croplifela.org](https://www.croplifela.org). Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/moscas-de-la-fruta-y-del-boton-floral>
- [25] J. E. Beltrán-Vargas and L. E. Gaona García, “Capítulo VI - Insectos y ácaros ,” Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia, https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36879/Ver_documento_36879.pdf?sequence=1 (accessed Nov. 23, 2023).
- [26] “Los Trips (Thrips)--UC IPM”. Home Page - UC Statewide IPM Program. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://ipm.ucanr.edu/QT/thripscardsp.html>
- [27] EPA en español | US EPA. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/spch15.pdf>
- [28] “EPA - Home Page for the Search site”. EPA - Home Page for the Search site. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000047M.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery>
- [29] Repisalud Principal. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repisalud.isciii.es/bitstream/handle/20.500.12105/11824/hongos-microscopicos.pdf?sequence=2>
- [30] “La importancia de los hongos • Ecologistas en Acción”. Ecologistas en Acción. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.ecologistasenaccion.org/19972/la-importancia-de-los-hongos/>

- [31] U. R. Osorio. "Estructura de los hongos - Resumen y fotos". [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com/estructura-de-los-hongos-3676.html).
<https://www.ecologiaverde.com/estructura-de-los-hongos-3676.html> (accedido el 30 de abril de 2023).
- [32] Repositorio Universidad Nacional. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea].
 Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79887/Morfología%20y%20clasificación%20de%20los%20hongos.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [33] "Hongos microscópicos: Su uso biotecnológico". Saber Más, Revista de Divulgación. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea].
 Disponible: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/507-numero-57/987-hongos-microscopicos-su-uso-biotecnologico.html>
- [34] "Scielo - Género Fusarium," Scielo, <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v31n1/art12.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [35] Elaboración de un Atlas para la descripción macroscópica ... - javeriana, <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8230/tesis223.pdf;sequence=1> (accessed Nov. 23, 2023).
- [36] Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas Microbiología Clínica. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea].
 Disponible: <https://www.seimc.org/contenidos/ccs/revisionestematicas/micologia/fusarium.pdf>
- [37] DANE - Inicio. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea].
 Disponible: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2015.pdf
- [38] Propagación de Aguacate - [gob.mx](https://www.gob.mx), https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232194/Propagacion_de_aguacate.pdf (accessed Nov. 23, 2023).

- [39] FEN. Fundación Española de la Nutrición | Home. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/aguacate.pdf>
- [40] “Aguacate - Obrador de Pan Artesano”. Obrador de Pan Artesano. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.lamagdalenadeproust.com/info/aguacate/#:~:text=El%20aguacate%20es%20el%20fruto,la%20variedad%20denominada%20aguacate%20hass.>
- [41] “Beneficios y propiedades del aguacate”. Noticias de Cali, Valle y Colombia - Periodico: Diario El País. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.elpais.com.co/salud/beneficios-y-propiedades-del-aguacate-1352.html>
- [42] “Variedades de Aguacate – Viveros Brokaw”. Viveros Brokaw – Viveros de aguacate en Málaga y Huelva. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.viverosbrokaw.com/productos/aguacate/variedades-de-aguacate/>
- [43] Elaboración de biopelícula a partir de la semilla de aguacate variedad ..., <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9145/4/6181412-2023-1-IQ.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [44] K. Nateras. “El truco del hueso del aguacate será la medicina perfecta para tus plantas”. Architectural Digest. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.admagazine.com/articulos/hueso-de-aguacate-para-plantas-para-que-sirve-y-como-hacer-abono>
- [45] Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000310.pdf>
- [46] Universidad Eafit ISSN (Versión Impresa): 0120-341X - redalyc, <https://www.redalyc.org/pdf/215/21513704.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).
- [47] ANALISIS DE LOS POSIBLES FACTORES QUE DIFICULTAN LA IMPLEMENTACION DE BIODIGESTORES TIPO TUBULAR Y CUPULA

FLOTANTE EN LAS ZONAS RURALES Y URBANAS DE LA REGION NORTE
DE COLOMBIA,

<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8529/135399.pdf?sequence=1> (accessed Nov. 23, 2023).

[48] Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Agronomía,
<http://eprints.uanl.mx/23652/1/1080286766.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).

[49] Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Agronomía,
<http://eprints.uanl.mx/23652/1/1080286766.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).

[50] “Biofungicidas Naturales para el control de enfermedades provocadas Por Hongos,”
Seipasa, https://www.seipasa.com/es_ES/biofungicidas/ (accessed Nov. 23, 2023).

[51] Fungicidas Biológicos - University of connecticut, https://ipm.cahnr.uconn.edu/wp-content/uploads/sites/3216/2023/04/Fungicidas-Biologicos_CC2023.pdf (accessed Nov. 23, 2023).

[52] “Selección de extractos fúngicos extracelulares (efe) con potencial para el control de botrytis cinerea en tomates,” Repositorio Institucional Javeriano,
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8292/tesis270.pdf?sequence=1> (accessed Nov. 23, 2023).

[53] A. T. Rodríguez-Pedroso et al., “Propiedades Químico-Estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos,” Revista Chapingo. Serie horticultura,
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000500012 (accessed Nov. 23, 2023).

[54] “Bacterias fijadoras de nitrogeno en agricultura, alternativa al uso de fertilización Nitrogenada Inorgánica,” Ideagro, <https://ideagro.es/bacterias-fijadoras-de-nitrogeno-en-agricultura-alternativa-al-uso-de-fertilizacion-nitrogenada-inorganica/> (accessed Nov. 23, 2023).

[55] Bioquímica de las fermentaciones - UPM,
<https://oa.upm.es/55235/1/FERMENTACIONES.pdf> (accessed Nov. 23, 2023).

- [56] J. Gambini et al., "Resveratrol: Distribución, propiedades y perspectivas," *Revista Española de Geriatria y Gerontología*, <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-geriatria-gerontologia-124-articulo-resveratrol-distribucion-propiedades-perspectivas-S0211139X12001023#:~:text=El%20resveratrol%20es%20un%20polifenol,f%C3%B3rmula%20de%20la%20radiación%20ultravioleta>. (accessed Nov. 23, 2023).
- [57] J. E. Wong-Paz, P. Aguilar-Zárate, F. Veana, and D. B. Muñoz-Márquez, "Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de Frutos Cítricos," *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2020000100210 (accessed Nov. 23, 2023).
- [58] Estudio de la Actividad antifúngica in vitro de Materiales compuestos ..., https://www.researchgate.net/publication/337091904_Estudio_de_la_actividad_antifungica_in_vitro_de_materiales_compuestos_basados_en_complejos_de_inclusion_de_polifenoles_contra_Phytophthora_cinnamomi (accessed Nov. 23, 2023).
- [59] "Tratados Internacionales - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-internacionales/tratadosinternacionales/#:~:text=Convención%20de%20las%20Naciones%20Unidas,Sobre%20los%20Contaminantes%20Orgánicos%20Persistentes>. (accedido el 30 de abril de 2023).
- [60] "Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias". vLex. <https://vlex.com.co/vid/ley-9-1979-dictan-742085449> (accedido el 30 de abril de 2023).
- [61] "Untitled Document". Biblioteca IDEAM catalog. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005247/HTM/ANEXO_2.HTM (accedido el 27 de abril de 2023).

- [62] Pepa del aguacate Hass, materia prima para empaque biodegradable. (s.f). VirtualPro.co. <https://www.virtualpro.co/noticias/pepa-del-aguacate-hass--materia-prima-para-empaque-biodegradable>
- [63] Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/877/87713711.pdf>
- [64] RiuNet repositorio UPV. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/134096/Arenas%20-%20Extracción%20de%20compuestos%20fenólicos%20mediante%20el%20uso%20de%20disolventes%20orgánicos%20a%20partir%20del....pdf?sequence=1>
- [65] “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS FENÓLICOS CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE AGUACATE: EPICARPIO Y SEMILLA (*Persea americana*)”. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/147430588.pdf>
- [66] “ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE TARA (*Caesalpinia spinosa*) FRENTE A *Fusarium graminearum*”. Firewall Notification. Accedido el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/130/1301941003/1301941003.pdf>
- [67] “Biofungicidas Naturales para el control de enfermedades provocadas Por Hongos,” Seipasa, https://www.seipasa.com/es_ES/biofungicidas/#:~:text=Los%20biofungicidas%20proporcionan%20protecci%C3%B3n%20natural,obtener%20alimentos%20sin%20residuos%20qu%C3%ADmicos. (accessed Nov. 27, 2023).
- [68] “Alimentación y agricultura sostenibles”, Food and Agriculture Organization of the United Nations. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainability/es/>. [Consultado: 27-nov-2023].

- [69] “Métodos de Control de Plagas”. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. Accedido el 26 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf>
- [70] “CAPÍTULO 4 - LOS PLAGUICIDAS, EN CUANTO CONTAMINANTES DEL AGUA”. Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations. Accedido el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/3/W2598S/w2598s06.htm>
- [71] Accedido el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223240764010.pdf>
- [72] “El reciclaje | US EPA”. US EPA. Accedido el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://espanol.epa.gov/espanol/el-reciclaje>