

**Fundación Universitaria Agraria de
Colombia**

UNIAGRARIA



TRABAJO DE GRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

*Eficacia del control de antracnosis durante la postcosecha de
aguacate Hass (Persea americana 'Hass') mediante el uso de una membrana
difusora de aceites esenciales.*

Presenta: Ing. Ana María Gil Gil

**Director: Dr. Javier Darío Hoyos Leyva
Co-directora: Dra. Jinneth Lorena Castro Mayorga**

2024



Facultad de
Ingeniería

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Alimentos
Maestría en Ingeniería

***Eficacia del control de antracnosis durante la postcosecha de
aguacate Hass (Persea americana 'Hass') mediante el uso de una
membrana difusora de aceites esenciales.***

Opción de titulación
Tesis o Publicación de artículos

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Magister en Ingeniería

Presenta:
Ana María Gil Gil

Dirigido por:
Dr. Javier Darío Hoyos Leyva
Co- dirigido por:
Dra. Jinneth Lorena Castro Mayorga

Nombre del evaluador
Presidente

Firma

Nombre del evaluador
Secretario

Firma

Nombre del evaluador
Vocal

Firma

Nombre y Firma
Director de la Maestría

Nombre y firma
Director (ra) Departamento de
Ingeniería de Alimentos

Bogotá D.C.

Fecha (será el mes y año de aprobación del Consejo Técnico, Académico y Curricular)

RESUMEN

La antracnosis, producida por el hongo *Colletotrichum sp.*, es una de las principales limitantes en la producción de aguacate Hass, esta enfermedad tiene una amplia distribución y reviste una gran importancia económica, causando pérdidas que pueden superar el 20 %. Este estudio tuvo como objetivos determinar el tamaño óptimo de la membrana difusora de aceite esencial obtenida mediante la técnica de electrospinning para un mayor control de la antracnosis en condiciones *in vitro*, evaluar el efecto de dicha membrana en la postcosecha del aguacate Hass y validar el impacto del tamaño de la membrana en la incidencia y severidad del patógeno en el fruto bajo condiciones de exportación. A nivel *in vitro* se desarrolló un diseño factorial 1^2 con niveles de variación en los tamaños de membrana (1/2 y 1/4), se evaluó el crecimiento radial de *Colletotrichum sp.* en medios de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) sembrados con el patógeno en almacenamiento con la membrana difusora a 22 °C. Como resultado se obtuvo que el tamaño de membrana 1/2 generó un mayor control en el crecimiento del patógeno con un porcentaje de inhibición mayor al 50 %. La presencia de la membrana en frutos con tratamiento de campo y frutos sin tratamiento no generó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en las variables postcosecha; análisis de color, conductividad, materia seca, pH y acidez titulable. En frutos de aguacate Hass inoculados con *Colletotrichum sp.*, no se presentan efectos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) sobre la incidencia; sin embargo, la severidad se ve reducida en un 34 % al utilizar un tamaño de membrana 1/4.

Estos resultados demuestran la viabilidad en el uso de la membrana difusora para control biológico del hongo *Colletotrichum sp.* en la postcosecha de aguacate Hass y así reducir el uso de fungicidas de síntesis química.

Palabras clave:

Limitantes fitosanitarias, Aguacate Hass, Control biológico

ABSTRACT

Anthraco­nose, caused by the fungus *Colletotrichum sp.*, is one of the main limiting factors in Hass avocado production. This disease is widely distributed and has significant economic importance, causing losses that can exceed 20%. The objectives of this study were to determine the optimal size of the essential oil diffuser membrane obtained through the electrospinning technique for enhanced control of anthracnose under *in vitro* conditions, evaluate the effect of this membrane on the postharvest of Hass avocado and to validate the impact of membrane size on the incidence and severity of the pathogen in the fruit under export conditions. At the *in vitro* level, a factorial design 1² was developed with varying levels of membrane sizes (1/2 and 1/4). The radial growth of *Colletotrichum sp.* was evaluated on Potato Dextrose Agar (PDA) culture media inoculated with the pathogen and stored with the diffuser membrane at 22 °C, as a result, it was found that the ½ membrane size provided better control over pathogen growth, with an inhibition percentage greater than 50 %. The presence of the membrane in field-treated fruits compared to untreated fruits did not generate statistically significant differences (p<0.05) in postharvest variables such as color analysis, conductivity, dry matter, pH, and titratable acidity. In Hass avocados inoculated with *Colletotrichum sp.*, no statistically significant effects (p<0.05) were observed on incidence; however, severity was reduced by 34% when using a 1/4 membrane size

These results demonstrate the feasibility of using the diffuser membrane for the biological control of the fungus *Colletotrichum sp.* in the postharvest of Hass avocado, thereby reducing the need for synthetic chemical fungicides

Key words:

Phy­to­sanitary barriers, Avocado Hass, biological control.

A Dios por darme la fortaleza de culminar esta etapa

A mis padres, mi hermano y mis abuelos por impulsarme a seguir adelante
cuando se me acabaron las fuerzas

A mi novio, por acompañarme, por darme su amor y la fortaleza que
necesite para seguir

A mis amigas Catalina y Karen, por su apoyo incondicional sin importar la
distancia

A mi gato Michi, por su compañía en la escritura de cada página

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, por permitirme el acceso a los laboratorios.

Al programa de Maestría en Ingeniería, por la beca durante todo el plan de estudios.

A la Universidad de los Andes, por la fabricación de la membrana difusora.

A la Corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA, por permitirme el acceso a sus laboratorios y su colaboración con la cepa de *Colletotrichum sp.*

Al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación MINCIENCIAS, por la financiación de la beca de sostenimiento durante el proyecto.

A mi director, Doctor Javier Hoyos, por su ayuda, comprensión y aportes para la elaboración de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 CONTEXTO AGUACATE HASS.....	11
2.2 PRODUCCIÓN Y MERCADO	11
2.3 LIMITANTES FITOSANITARIAS	13
2.3.1 <i>Colletotrichum sp</i>	14
2.4 CONTROL BIOLÓGICO EN POSTCOSECHA PARA EL MANEJO DE	
ANTRACNOSIS	15
2.5 MEMBRANA DIFUSORA	16
2.6 ACEITES ESENCIALES Y SU POTENCIAL USO EN EL CONTROL DE LA	
ANTRACNOSIS EN POSTCOSECHA.....	17
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
4. JUSTIFICACIÓN.....	21
5. OBJETIVOS.....	22
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
6. METODOLOGÍA	23
6.1 MATERIAL VEGETAL.....	23
6.2 MEMBRANA DIFUSORA	23
6.3 ORIGEN DE LA CEPA DE <i>COLLETOTRICHUM SP</i>	23
6.4 EFFECTO DEL TAMAÑO DE LA MEMBRANA SOBRE EL CONTROL DE	
ANTRACNOSIS.....	24
6.5 EVALUACIÓN DE VARIABLES POSTCOSECHA CON EL USO DE MEMBRANA	
DIFUSORA.....	25
6.6 EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE ANTRACNOSIS CON EL	
USO DE MEMBRANA DIFUSORA.....	26
6.7 VARIABLES RESPUESTA	27

6.7.1	<i>Incidencia</i>	27
6.7.2	<i>Severidad</i>	28
6.7.3	<i>Análisis de color</i>	28
6.7.4	<i>Rigidez</i>	28
6.7.5	<i>Pérdida de electrolitos</i>	29
6.7.6	<i>Contenido de humedad y materia seca</i>	29
6.7.7	<i>pH y acidez titulable</i>	29
6.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	30
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1	ANÁLISIS <i>IN VITRO</i> MEMBRANA DIFUSORA:	30
7.2	VARIABLES POSTCOSECHA CON EL USO DE MEMBRANAS DIFUSORAS:..	33
7.2.1	<i>Análisis de color</i>	33
7.2.2	<i>Rigidez de los frutos</i>	36
7.2.3	<i>Pérdida de electrolitos</i>	37
7.2.4	<i>Materia seca</i>	37
7.2.5	<i>pH</i>	39
7.2.6	<i>Acidez titulable</i>	39
7.3	INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ENFERMEDAD:	41
7.3.1	<i>Incidencia</i>	41
7.3.2	<i>Severidad</i>	41
8.	CONCLUSIONES.....	44
9.	REFERENCIAS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales productores de aguacate Hass (Ton) en el mundo. ...	12
Tabla 2. Ventas y porcentaje de exportación de aguacate Hass a los principales mercados del mundo en 2023.....	12
Tabla 3. Tratamientos <i>in vitro</i> evaluados para el control de <i>Colletotrichum sp.</i>	25
Tabla 4. Tratamientos <i>in vivo</i> evaluados en las variables postcosecha.....	25
Tabla 5. Tratamientos <i>in vivo</i> evaluados para incidencia y severidad.	27
Tabla 6. Diámetro de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , en relación con el tamaño de membrana y tiempo de almacenamiento.....	30
Tabla 7. Índice cromático con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.....	34
Tabla 8. Rigidez con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.	36
Tabla 9. Conductividad con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.....	37
Tabla 10. Materia seca con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.....	38
Tabla 11. pH con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.....	39
Tabla 12. Acidez titulable con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.....	40
Tabla 13. Incidencia de la enfermedad en los tratamientos con tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$	41

Tabla 14. Severidad de la enfermedad en los tratamientos con tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$	42
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sintomatología interna de antracnosis en aguacate Hass. Fuente: Autor.....	28
Figura 2. Crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Colletotrichum sp.</i> con relación a los tratamientos A. 1/2; B. 1/4; C. Control después de 7,8 y 10 días de almacenamiento. Fuente: Autor.....	32
Figura 3. Coloración frutos de aguacate Hass con relación a los tratamientos A. T1-CM; B. T1-SM; C. Control en 0, 7, 11 y 13 días de almacenamiento. Fuente: Autor.....	35
Figura 4. Niveles de severidad en frutos inoculados y tamaño de membrana A. 1/2; B. 1/4. Fuente: Autor.	43

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha presentado un crecimiento significativo de la producción y comercialización del aguacate Hass en Colombia, para el periodo 2020-2023 se tuvo un crecimiento promedio del 9% en toneladas netas y las exportaciones en el año 2023 reportaron ventas de aproximadamente US \$200,5 millones (ANALDEX, 2024).

A pesar del crecimiento de este cultivo en los últimos años, existen limitantes sanitarias que afectan tanto la producción como la calidad del fruto, entre las cuales se encuentra la antracnosis, una enfermedad que provoca lesiones definidas en la pulpa y cáscara del fruto. Sin embargo, estos síntomas se manifiestan principalmente en la etapa de postcosecha (Morales & Henríquez, 2021). Diferentes condiciones ambientales como la humedad relativa mayor a 80 % y la temperatura entre 12 °C – 22 °C favorecen el crecimiento y desarrollo de esta enfermedad en cultivos de aguacate Hass (Scot, 2008). Actualmente, el control de antracnosis se basa en la aplicación de fungicidas de síntesis química que pueden llegar a afectar el agroecosistema. Las altas pérdidas ocasionadas por la antracnosis ascienden a USD \$40 millones (Rodríguez et al., 2009), afectando principalmente la etapa de postcosecha. Además, el uso de fungicidas presenta limitaciones significativas en el control de esta enfermedad. Por esta razón, se han investigado diversos métodos de control biológico que reduzcan el impacto de la antracnosis en los cultivos de aguacate Hass, como microorganismos antagonistas, recubrimientos (Zapata-Narváez et al., 2021) y aceites esenciales (Díaz et al., 2019). Dentro de estas alternativas, el uso de aceites esenciales tiene un potencial de aplicación para la postcosecha, incorporándolo en membranas que brinden una liberación controlada del compuesto bioactivo. En este sentido, el objetivo en este trabajo fue emplear una membrana difusora para implementar alternativas modernas que incluyen estrategias biológicas para controlar esta enfermedad, y así demostrar la viabilidad en el uso de membranas difusoras bajo condiciones de exportación.

A continuación, se determinó la eficacia del uso de membranas difusoras para el control de antracosis, modificando variables como temperatura y humedad que permitan tener condiciones propias del almacenamiento y transporte a destino de exportación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto aguacate Hass

El aguacate Hass, es considerado un fruto tropical, que se desarrolla en climas cálidos y templados, es reconocido por ser un alimento natural que aporta 25 % de vitamina K, 17 % de vitamina C y alrededor del 70 % de ácidos grasos; omegas 3,6,7 y 9 (Hernández et al., 2018). Se encuentra en el grupo de los frutos climatéricos (Ochoa et al., 2021) y gracias a su alta demanda nacional e internacional y los usos que se le pueden dar a este fruto se posiciona como uno de los más importantes para el país (Hernández et al., 2018). Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), el 34 % del total de área sembrada de aguacate en el país, corresponde a la variedad Hass.

2.2 Producción y mercado

El comportamiento de producción y mercado de la fruta, según cifras de Asohfrucol, para el año 2023 se presentó un crecimiento aproximado del 17 % con relación al 2022, por un valor de US\$ 200,5, siendo esta una cifra significativa para la economía del país.

A nivel regional, la producción de aguacate Hass se encuentra alrededor de 47.000 toneladas, correspondientes a 10.500 hectáreas sembradas (ANALDEX, 2024), Antioquia se considera líder en producción de esta variedad, se estima que, de las 28.122 Ha en producción en todo el país, 24.314 están cultivadas en este departamento (Asohfrucol, 2024).

En cuanto a la producción de aguacate Hass a nivel mundial, en la **Tabla 1** se evidencia que para el año 2023 Colombia ocupó el segundo lugar con una cifra de 979.617 Ton (ANALDEX, 2024).

Tabla 1. Principales productores de aguacate Hass (Ton) en el mundo.

País	Producción (ton).
México	2.442.877
Colombia	979.617
Perú	777.095
República Dominicana	634.368
Chile	169.031

Fuente: (ANALDEX, 2024)

El aguacate Hass producido en el país se exporta a más de 36 países, entre los cuales se encuentran, Países Bajos, Reino Unido, España, Bélgica y Francia (Tabla 2)

Tabla 2. Ventas y porcentaje de exportación de aguacate Hass a los principales mercados del mundo en 2023.

País Destino	Ventas (USD)	Participación (%)
Países Bajos	94,7 millones	47,2
Estados Unidos	23,4 millones	11,6
España	23,2 millones	11,5
Reino Unido	22,7 millones	11,3
Francia	9,9 millones	8,4
Bélgica	9,7 millones	5

Fuente: (ANALDEX, 2024)

Así mismo, entre los meses de enero y diciembre del año 2023 se registró un crecimiento del 9% respecto a las exportaciones del año 2022, con un total de 114.535 Toneladas. Entre los principales países de destino se encuentran Países Bajos, Estados Unidos y España (ANALDEX, 2024)

2.3 Limitantes fitosanitarias

La antracnosis es una enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum sp.*, asociado a dos especies, *Colletotrichum gloeosporoides*. y *Colletotrichum acutatum* que ocasionan pérdidas económicas en diferentes cultivos (Zakaria, 2021). Esta enfermedad genera síntomas como lesiones de forma ovalada, oscuras y hundidas en el exterior de la fruta, se da principalmente en campo durante su desarrollo, y su sintomatología se evidencia durante la postcosecha y el almacenamiento, en donde los niveles de etileno aumentan como resultado de una maduración en el fruto (Morales & Henríquez, 2021). Adicional a esto es considerada la principal enfermedad de tipo fúngico que afecta frutos como el mango, la guayaba, la papaya, el aguacate, entre otros, causando daños considerables en frutos (Valdés et al., 2017).

Los cambios bioquímicos que ocurren durante la maduración en los frutos como la producción de etileno, la tasa respiratoria, los azúcares solubles, entre otros (Balaguera & Herrera, 2012), atribuyen a que la infección se siga desarrollando y se demuestre con en la etapa de la postcosecha (De Silva et al., 2017).

El estado quiescente del hongo se define como la presencia del patógeno sin manifestar síntomas, este inicia en el momento en el que se da el contacto de la espora con la superficie del fruto, germina y se mantiene inactivo hasta la maduración del fruto hospedero del hongo. La terminación de la quiescencia se debe a la participación del etileno en la maduración del fruto, esto gracias a que *Colletotrichum sp* tiene la capacidad de utilizar la hormona de la maduración correspondiente al etileno como señal para activar el proceso de infección y terminar la inactividad quiescente (De Silva et al., 2017).

Actualmente, los fungicidas son una herramienta principal en cultivo y postcosecha para controlar el desarrollo de la enfermedad y las pérdidas ocasionadas. Sin embargo, su uso se ha limitado como consecuencia de la toxicidad y los posibles riesgos ocasionados a la salud (Landeró-Valenzuela et al., 2016).

Imidazol, es uno de los fungicidas de síntesis química más importantes en la agricultura, específicamente de uso en postcosecha (AGQ, 2019). Desde el inicio de su comercialización en los años 90, se convirtió en el fungicida predilecto para los productores de aguacate en Colombia, gracias a su control en enfermedades como la antracnosis, causada por hongos del género *Colletotrichum sp.* (Pacheco, 2020).

Durante los últimos 20 años la aplicación de Imidazol se ha realizado por medio de inmersión del fruto de aguacate después de la cosecha (Pacheco, 2020), sin embargo, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) impide la exportación a ciertos países en donde no es permitido la presencia de residuos de este compuesto activo, tal es el caso de Estados Unidos en donde también se prohíbe la importación de productos como mango, limón y mandarina (Oliver, 2021).

Otro ejemplo de fungicida químico es el Thiabendazole, este compuesto inhibe el desarrollo y crecimiento fúngico, es eficaz en el control de diversas enfermedades tales como la pudrición peduncular en palto y mango, *Botrytis* en tomate y naranjos, entre otros. La aplicación de este fungicida puede llevarse a cabo tanto antes como después de la cosecha, dependiendo de la enfermedad específica que se esté tratando (Syngenta, 2022).

La pudrición peduncular es otro agente que causa pérdidas y complicaciones significativas a los productores de aguacate Hass en el contexto de la exportación (Soto, 2021), esta afección se produce en la unión del fruto con el pedúnculo y se caracteriza por la presencia de lesiones de color café oscuro a negro en su interior (Grisales et al., 2019). Esta problemática se ha convertido en una de las más preocupantes para la industria debido a que sus síntomas se manifiestan después de la cosecha y durante el transporte (Valencia et al., 2020).

2.3.1 *Colletotrichum sp*

Colletotrichum sp., es un importante patógeno quiescente (Jayawardena et al., 2021). Es uno de los principales hongos que pueden desencadenar la

antracnosis en una variedad de frutos, principalmente en hospederos de climas tropicales. Las infecciones quiescentes provocadas por este hongo por lo general no se manifiestan durante la etapa de cultivo; el hongo puede permanecer inactivo durante semanas y solo manifestarse cuando el fruto alcanza su etapa de madurez (Guédez & Rodríguez, 2021).

Existen condiciones favorables para el desarrollo de *Colletotrichum sp*, la temperatura óptima para el crecimiento de este patógeno es de 22 a 25 °C y un pH de 5,8 a 6,5 (Sharma & Kulshrestha, 2015). En cuanto a sus características macroscópicas, sus colonias tienden a tener un color que varía de gris claro a gris oscuro. Además, es conocido por causar lesiones en el fruto que adquieren un tono café, y en lo que respecta a sus características microscópicas, se observa que este hongo posee hifas septadas (Rodríguez et al., 2009).

2.4 Control biológico en postcosecha para el manejo de antracnosis

Con relación a la problemática con el uso de fungicidas para el control de antracnosis, es necesario integrar alternativas de control biológico mediante el uso de microorganismos antagonistas. Investigaciones han demostrado el potencial de *Trichoderma* como agente antagonista de patógenos fúngicos, según López et al. (2022) esta bacteria a nivel *in vitro* logró generar inhibiciones mayores al 80 % en cepas de *Neofusicoccum parvum*, *Colletotrichum sp.* y *Diaporthe sp.* Por otra parte, a nivel *in vivo* en frutos de aguacate se observó mayor actividad antagónica sobre *C. gloeosporioides* y una reducción del 2 % en síntomas de pudrición de pedúnculo.

El uso de la bacteria *Lysinibacillus xylaniticus*, la levadura *Rhodotorula glutinis* (actualmente re identificada como *Rhodotorula mucilaginosa*) y el recubrimiento del fruto con quitina ha demostrado tener una eficacia del 69 % para el control de antracnosis en mango, asimismo, un bioensayo compuesto por quitina y tratamiento térmico al fruto presento una eficacia en el control de las infecciones quiescentes de *C. gloeosporioides* del 84 % (Zapata-Narváez et al., 2021)

Según el estudio llevado a cabo por Carrillo et al. (2004), se demostró que el uso de *Bacillus subtilis* y *Rhodotorula minuta* mostró una mayor efectividad para el control de la antracnosis respecto al control químico convencional que se suele aplicar a los frutos. La severidad de la enfermedad se redujo en un 60.5 % con el uso de estos agentes biológicos, en contraste con el 42 % de reducción obtenido con el fungicida químico Benomil (a una concentración de 10.5g/L). Adicional a esto, al evaluar el efecto en la calidad postcosecha de los frutos, se observó que no se produjeron cambios significativos tras la aplicación del control biológico. Esto sugiere que el uso de *Bacillus subtilis* y *Rhodotorula minuta* puede ser una alternativa efectiva, sin comprometer la calidad de los frutos (Carrillo et al., 2004).

En este sentido, se están evaluando otras técnicas para el control de esta enfermedad en postcosecha, entre estas se encuentra el desarrollo de membranas difusoras de aceites esenciales producidas mediante la técnica de electrospinning (Mele, 2020). Estudios han demostrado que el uso de nanofibras con aceites esenciales presentan actividad antimicrobiana en bacterias como *Salmonella Typhimurium* y *Listeria monocytogenes* (Soto, 2018) y hongos como *Aspergillus niger* (Ledezma et al., 2014).

2.5 Membrana difusora

La elaboración de membranas difusoras o nanofibras poliméricas puede llevarse a cabo por diferentes técnicas, entre las cuales se encuentra el Método gas jet, la tecnología melt blown, el método de separación por fases, el procesamiento con moldes y la técnica de electrospinning, siendo esta última la más utilizada para la elaboración de membranas, debido a su facilidad de procesamiento, economía y posibilidad de obtener fibras alineadas (Kamiyama et al., 2012).

El frecuente uso de las membranas difusoras se da por la gran variedad de aplicaciones que esta tiene, su versatilidad permite su uso en ingeniería de tejidos, energía, medio ambiente y en el sector alimenticio. Una de las aplicaciones importantes de las nanofibras en los alimentos es la nanoencapsulación de

compuestos bioactivos (Wen et al., 2017). Por otra parte, estas cuentan con una capacidad de difusión del principio activo durante un periodo de tiempo, en donde se pueden utilizar aceites esenciales (Pataquiva & Coba, 2018).

A nivel postcosecha, se han desarrollado técnicas de conservación por medio de materiales micro y nanoestructurados, los recubrimientos comestibles representan una alternativa antimicrobiana en frutas y verduras (Li et al., 2019) como fresas, pepinos, pimientos, mangos y otros de alta susceptibilidad (Dhall, 2013). Una aplicación de recubrimientos nanofibrosos en frutos de manzana verde (*Granny Smith*) a base de proteína de maíz y curcumina demostró una reducción del 50% de lesiones generadas por *Penicillium expansum* durante su etapa de almacenamiento (Rosero et al., 2020).

2.6 Aceites esenciales y su potencial uso en el control de la antracnosis en postcosecha

Los aceites esenciales (AE) son compuestos orgánicos volátiles presentes en las plantas o frutos, la mayoría de estos están conformados por mezclas complejas que involucran un cierto número de compuestos (Bertoli et al., 2004), comúnmente se obtienen por hidrodestilación o destilación por arrastre de vapor (Raveau et al., 2020). Se ha reportado que alrededor del 1 % de los metabolitos secundarios de las plantas están constituidos por aceites esenciales, principalmente están representados por terpenoides, fenilpropanoides/bencenoides, derivados de ácidos grasos y derivados de aminoácidos (Dudareva et al., 2007)

Se consideran sustancias con actividad antimicrobiana contra virus, bacterias y hongos, una característica importante de estos compuestos corresponde a la capacidad de pasar por biomembranas por difusión libre, permitiendo una buena biodisponibilidad de los compuestos volátiles en diferentes superficies (Sharopov et al., 2015).

En el mismo sentido, se dice que son bioeficaces, económicos y ambientalmente seguros; esto por ser de origen biológico, se considera que pueden ser candidatos para uso como agroquímicos y así disminuir el uso de fungicidas (Ibrahim et al., 2015). Diferentes investigaciones demuestran que los aceites esenciales contienen compuestos antimicrobianos contra diferentes patógenos fúngicos, dado que su actividad volátil afecta directamente el desarrollo del hongo (Zaker, 2016), los AE poseen 5 mecanismos de acción respecto a su actividad antifúngica, entre los cuales se encuentra inhibir la formación de la pared celular de los hongos, alterar la membrana celular al impedir la síntesis de ergosterol, afectar las mitocondrias fúngicas para inhibir el transporte de electrones mitocondriales, inhibir la división celular, interferir con la síntesis de ARN o ADN impidiendo la síntesis de proteína (Raveau et al., 2020).

El uso de aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), clavo (*Syzygium aromaticum*), azafrán (*Crocus sativus*), mogra (*Jasminum sambac*) y madera de cedro (*Cedrus deodara*), tienen un efecto inhibitorio en el crecimiento *in vitro* de *C. gloeosporioides*, patógeno responsable de la antracnosis (Rabari et al., 2018).

El aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.), ha demostrado presentar actividad antifúngica sobre los hongos *Colletotrichum gloeosporioides*, *Penicillium indicum*, *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer* y *Aspergillus flavus*, el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial del hongo se ve disminuido en un 80 % utilizando el aceite esencial de naranja (AEN) en concentraciones del 1 %, mientras que en concentraciones entre 2.5 % y 5 % del AEN se puede lograr una inhibición del 100 % (Guédez et al., 2014).

Los aceites de cúrcuma (*Curcuma longa*) y jengibre (*Zingiber officinale*) generan inhibición al crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*. Al realizar pruebas *in vitro* con cepas obtenidas a partir de cultivos de ñame se evidencia que el uso de este tipo de aceites puede disminuir la presencia de este patógeno hasta en un 85 %, (Pérez Cordero et al., 2021). Igualmente, el aceite de albahaca muestra

actividad inhibitoria contra *Colletotrichum sp.* en el ñame, al utilizar 10.000 ppm del aceite en las pruebas *in vitro* se evidencia un porcentaje de inhibición del 90 % (Pérez Cordero et al., 2018).

Para el caso de la antracnosis presente en mango, el aceite esencial de limón de cerca (*Swinglea glutinosa*) inhibe el crecimiento del hongo *Colletotrichum sp.* dependiendo de la concentración utilizada de aceite esencial, en este caso para concentraciones de 0.3 %, 1 % y 2 % el porcentaje de inhibición corresponde a 31.16 %, 52.77 % y 82.41 %, respectivamente (Camargo Piñeres et al., 2021).

Adicional a estos aceites esenciales, estudios demuestran que los aceites de tomillo (*Thymus vulgaris*), menta (*Mentha piperita L*) y citronela (*Cymbopogon nardus*) contienen propiedades antifúngicas sobre el crecimiento *in vitro* de *C. gloeosporioides*, el aceite de tomillo presentó una inhibición radial del 53,19 %, el aceite de menta un 41,62 % y la citronela 23,54 % (Sellamuthu et al., 2013).

La citronela, es una planta que puede llegar a tener una altura de dos metros, se caracteriza por su color verde intenso, y su principal componente químico corresponde al citral 78 %-82 % (Aceite volátil). Esta composición química, permite que el aceite esencial de *Cymbopogon* cuente con actividad antimicrobiana, donde se incluye la inhibición y control de hongos relacionados a infecciones en postcosecha de frutas (Tzortzakis & Economakis, 2007).

El aceite esencial de citronela (*Cymbopogon nardus*) ha demostrado actividad antimicrobiana en semillas de pimienta sobre el desarrollo de *C. gloeosporioides*, en la etapa *in vitro* el porcentaje de inhibición del hongo se encuentra entre el 25 % y 30 % teniendo una concentración del 25 % del aceite (Nascimento et al., 2020).

Su alto contenido de citral permite dicha actividad antimicrobiana, el aceite esencial de citronela cuenta con la capacidad de reducir la germinación de esporas en *Colletotrichum sp.*, los efectos antifúngicos se relacionan directamente con la concentración del aceite (Tzortzakis & Economakis, 2007).

3. Planteamiento del problema

La antracnosis es la principal limitante en la producción de aguacate Hass, generando pérdidas del 20 % en la producción (Rodríguez et al., 2009), siendo de difícil control y manifestándose en postcosecha, transporte y/o en la etapa de almacenamiento del fruto (Morales & Henríquez, 2021), esto cuando no se ha realizado una acción de control preventiva. La identificación temprana de esta enfermedad en el fruto se dificulta a causa del microorganismo promotor de la antracnosis, el género *Colletotrichum sp.* puede causar infecciones latentes y permanecer inactivo hasta la maduración del fruto, de allí que esta enfermedad se manifieste en postcosecha (Kumar & Tiwari, 2013).

Una restricción importante para el control de esta enfermedad es el uso de fungicidas químicos, esto gracias a que su uso prolongado puede generar repercusiones en la salud humana y al agroecosistema (Díaz et al., 2019), tal es el caso de Imidazol, el cual, en países como Estados Unidos no se admite la presencia de residuos de esta sustancia en los frutos, de la misma forma, actualmente en Colombia no se permite el uso de este fungicida químico (Oliver, 2021) adicional a esto, su uso prolongado puede contribuir a la aparición de cepas resistentes haciendo que estos fungicidas ya no sean efectivos para el control del patógeno (Gutiérrez et al., 2004).

La implementación de controles biológicos mediante el uso de microorganismos antagonistas, biofungicidas, y/o aceites esenciales, surge como una alternativa para el control de diferentes enfermedades pre y postcosecha (Hernández et al., 2017), actualmente alrededor de 11 países se encuentran desarrollando estrategias para el manejo de antracnosis a partir de controles biológicos, siendo México uno de los países con mayor número de investigaciones en el tema (Díaz et al., 2019), esto como causa de que se considera una técnica más efectiva y segura para la salud del consumidor y el agroecosistema (Mejía et al., 2008).

Los aceites esenciales hacen parte de este grupo de controles biológicos para el manejo de diferentes microorganismos, en donde su mecanismo de acción consiste principalmente en atacar el crecimiento micelial del hongo (Dubey et al., 2008). Los compuestos activos de los aceites esenciales han demostrado lograr una inhibición del crecimiento micelial entre el 73 % y el 98 % (España et al., 2017), un 80% para la inhibición de esporulación (Dubey et al., 2008) y en cuanto a la reducción de las lesiones 35 % (Bolívar et al., 2009). En tal sentido, se busca evaluar la eficacia del control de la antracnosis durante la postcosecha de aguacate Hass (*Persea americana 'Hass'*) mediante el uso de una membrana difusora de aceites esenciales.

4. Justificación

Es importante tener en cuenta las enfermedades que se pueden presentar en los alimentos, en este caso en particular, la antracnosis es una enfermedad que causa pérdidas del 20 % en postcosecha de aguacate Hass (Rodríguez et al., 2009). La calidad exigida para productos tipo exportación se enfatiza en frutos libres de plagas o enfermedades, siendo una de estas la antracnosis.

Adicional a esto, para el control de hongos presentes en la postcosecha de diferentes frutos, se han venido utilizando fungicidas de síntesis química, generando efectos nocivos para el ambiente y los seres humanos, con propiedades y efectos toxicológicos distintos (OMS, 2022). En el caso de Colombia, los efectos a la salud (intoxicaciones y posible carcinógeno humano) y al medio ambiente (Toxicidad alta para organismos acuáticos) han conllevado a la prohibición de Imidazol, fungicida químico primordial para el control de antracnosis en postcosecha. Por otra parte, Mertec es un producto que contiene como base Thiabendazole, y tiene como finalidad la inhibición del desarrollo y crecimiento fúngico, sin embargo, según la resolución 2906 de 2007 expone los límites permitidos de residuos de plaguicidas (LMR), la cual señala un LMR de 15 (mg/Kg) para aguacate.

Asimismo, el uso de productos con Thiabendazole como ingrediente activo, pueden generar afectaciones a la salud o al medio ambiente, estudios demuestran que en humanos puede causar intoxicación aguda, en fauna la toxicidad puede ser leve para aves y abejas, mientras que para peces esta sustancia resulta mortal (Marcos et al., 2005)

La implementación de controles biológicos mediante el uso de microorganismos antagonistas, biofungicidas, y/o aceites esenciales, surge como una alternativa para el control de diferentes enfermedades pre y postcosecha (Hernández et al., 2017), el uso de aceites esenciales en combinación con una membrana difusora muestra un gran potencial como alternativa para el control biológico de la antracnosis en la postcosecha del aguacate Hass, generando disminuciones en las pérdidas para el productor a causa de esta enfermedad, al igual que la reducción de fungicidas de síntesis química que afectan el agroecosistema, esto gracias a que diferentes estudios han comprobado la presencia de propiedades antimicrobianas en dichos extractos naturales (Gil, 2018).

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

- Determinar la eficacia de una membrana difusora de aceites esenciales como tratamiento postcosecha en el control de antracnosis en aguacate Hass

5.2 Objetivos específicos

- Determinar el tamaño de membrana difusora de aceites esenciales con mayor control de antracnosis bajo condiciones *in vitro*.
- Evaluar el efecto de la inclusión de la membrana difusora sobre variables de calidad postcosecha de frutos de aguacate Hass.

- Validar el efecto *in vivo* del tamaño de la membrana difusora sobre la incidencia y severidad de antracnosis de aguacate Hass almacenado en condiciones de exportación.

6. Metodología

6.1 Material vegetal

Se utilizaron frutos de aguacate de variedad Hass, en etapa de madurez fisiológica (verde) con un peso promedio de 200 g, cosechados de un cultivo comercial y con tratamiento de campo, se realizó un lavado con jabón para retirar residuos sólidos del cultivo.

6.2 Membrana difusora

Fue producida por la técnica de electrospinning mediante el secreto industrial SI-115 Protocolos de membrana difusora de compuestos activos de la Universidad de los Andes que consiste en aceite esencial de citronella inmovilizado sobre material polimérico (policaprolactona -PCL).

6.3 Origen de la cepa de *Colletotrichum sp*

Frutos de aguacate variedad Hass en punto de cosecha fueron recolectados en sitio de acopio de la Cooperativa Multiactiva Ecomun Esperanza del Pueblo (COOMEPE), en el municipio de Silvia (Cauca). Un kilo del material vegetal fue dispuesto en bolsas de polietileno de baja densidad, embalado en la caja de cartón y enviado vía aérea para su procesamiento en laboratorio. Los frutos fueron lavados en hipoclorito de sodio al 1 % y enjuagados con agua destilada estéril para eliminar contaminantes externos, secando con toallas de papel y dispuestos en cámaras húmedas (25 °C, 14 días) para la observación de desarrollo de síntomas característicos propios de antracnosis causados por *Colletotrichum sp*. A partir de lesiones hundidas generadas en la epidermis del fruto y con la formación de masas compactas de color salmón-naranja se tomó mediante raspado con asa recta estéril una muestra de esporas que fue sembrada en cajas Petri conteniendo PDA (25°C;

7 días) hasta obtener crecimiento del patógeno. Resiembras sucesivas en PDA se realizaron para purificar el fitopatógeno siendo codificado como CC001.

6.4 Efecto del tamaño de la membrana sobre el control de antracnosis

Para determinar el efecto del tamaño de la membrana se planteó un diseño de un factor, con dos niveles de variación en el tamaño de la membrana, en donde se utilizarán dos tamaños, siendo estos 22cm ancho x 11 cm alto y 11cm ancho x 11 cm alto, los cuales se identificaron como tamaño $\frac{1}{2}$ y tamaño $\frac{1}{4}$, respectivamente. La membrana es elaborada en un laboratorio de la Universidad de los Andes, en donde desarrollaron la membrana con el aceite esencial de citronela para evaluar su efecto en el control de antracnosis. La membrana se encuentra en proceso de patentamiento, por lo que los detalles de fabricación, materiales y composición no pueden ser publicados en este trabajo de grado. Se realizó el análisis in vitro del crecimiento de *Colletotrichum sp.* (CC001), en medios de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) sembrados con el patógeno en almacenamiento controlado con la membrana difusora.

Con ayuda de una punta para micropipeta de 1 mL, se extrajeron discos de la cepa *Colletotrichum sp.* (CC001), se realizó la siembra de cada uno de estos en cajas Petri con medios de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA). Cuatro (4) cajas Petri sin tapa se almacenaron en cajas de plástico de dimensiones 20 cm x 12 cm x 34 cm simulando las dimensiones del embalaje tipo exportación de aguacate Hass, la temperatura de almacenamiento fue 22°C y 80%HR durante 10 días en cámara climática (Scot, 2008). Con ayuda de cinta de enmascarar la membrana difusora se posicionó en la tapa de la caja plástica.

La metodología expuesta anteriormente se llevó a cabo en cada uno de los tratamientos planeados (Tabla 3) por triplicado. Se evaluó el crecimiento radial del hongo en cada una de las cajas de Petri, junto con un registro fotográfico.

Tabla 3. Tratamientos *in vitro* evaluados para el control de *Colletotrichum sp.*

Tratamiento	
1	Cajas de Petri inoculadas + Membrana difusora
2	Cajas de Petri inoculadas
3	Cajas de Petri sin inocular

6.5 Evaluación de variables postcosecha con el uso de membrana difusora

A partir de los resultados del numeral 7.2, se seleccionó el tamaño de membrana con mejor resultado de inhibición del crecimiento de *Colletotrichum sp* (CC001). Tabla 4 se presentan los tratamientos evaluados en las variables postcosecha con la inclusión de la membrana difusora seleccionada, el almacenamiento de los frutos se llevó a cabo en cámara climática bajo condiciones de temperatura y humedad relativa de 22 °C y 80 %, respectivamente.

Tabla 4. Tratamientos *in vivo* evaluados en las variables postcosecha.

Tratamiento	
1	T1 + Membrana difusora (T1-CM)
2	T1 sin membrana difusora (T1-SM)
3	Control sin membrana difusora

Los frutos utilizados para este ensayo se encontraban en estado de maduración verde, su peso se encontraba entre 100 g – 190 g y provenían del municipio de Anolaima, Cundinamarca. Para el almacenamiento del tratamiento T1 con membrana, se utilizaron 6 cajas, cada una con 6 unidades experimentales. Los días 7, 11 y 13 posteriores al montaje, se evaluaron las variables postcosecha de un fruto en cada caja. Para los tratamientos 2 y 3, descritos en la Tabla 4, se utilizaron 2 cajas, cada una con 6 unidades experimentales. De manera similar, se evaluaron 2 frutos de cada caja en los días 7, 11 y 13.

La evaluación de variables postcosecha se llevó a cabo en el transcurso de 13 días, se midieron todas las variables postcosecha a frutos recién cosechados como punto de inicio del experimento (Día 0).

Para el seguimiento de variables postcosecha se realizó el análisis de color, rigidez, conductividad de la cáscara del aguacate, materia seca, pH y acidez titulable. Adicional a esto se analizó la incidencia y severidad de la enfermedad en cada uno de los frutos.

6.6 Evaluación de la incidencia y severidad de antracnosis con el uso de membrana difusora.

A partir de un cultivo del patógeno en Agar Papa Dextrosa (PDA) de 10 días de edad, se colectaron los conidios de *Colletotrichum* sp. (CC001) y se realizó una suspensión de 1×10^5 conidios mL^{-1} en agua destilada estéril (Zapata-Narváez et al., 2021), la cual se usó para la inoculación de los aguacates.

En frutos provenientes de un cultivo comercial, se realizó la inoculación del patógeno. Con una aguja de disección estéril se realizaron dos heridas de 2 mm de profundidad en una cara del fruto, separadas 5 cm entre ellas de manera vertical, sobre cada una de estas se aplicó 5 μL de la suspensión de conidios mencionada previamente.

Para este ensayo se planteó un diseño de experimentos de un factor con niveles de variación en el tamaño de membrana, en donde se utilizaron dos tamaños correspondientes a $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$. En la Tabla 5 se presentan los tratamientos evaluados, para los cuales se contó con 2 repeticiones, cada una con 6 unidades experimentales. El almacenamiento de los frutos se llevó a cabo en cajas de cartón bajo condiciones de exportación 5 °C y 80 %HR (Giuggioli et al., 2021), la membrana se posicionó en la tapa del empaque para así evitar el contacto directo con los frutos. Los tratamientos 1 y 2 se ubicaron en una cámara climática y los tratamientos 3 y 4 en otra.

Transcurridas 4 semanas bajo estas condiciones se retiraron los tratamientos de las cámaras climáticas y se almacenaron a temperatura ambiente durante 2 semanas, esto para simular el tiempo de exportación y la vida de anaquel.

Tabla 5. Tratamientos *in vivo* evaluados para incidencia y severidad.

Tratamiento	
CMI	Con membrana inoculados
CMSI	Con membrana sin inocular
SMI	Sin membrana inoculados
SMSI	Sin membrana sin inocular

6.7 Variables respuesta

6.7.1 Incidencia

Para la evaluación de la incidencia de la enfermedad, se otorgó una calificación binaria en las unidades experimentales, 0 para ausencia de la enfermedad y 1 para presencia de la enfermedad, identificando el hongo por medio de la sintomatología del patógeno, en donde el crecimiento de este se da de forma circular definida y de color café (Figura 1). El porcentaje de incidencia se calculó con la ecuación 1.

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\# \text{ Frutos afectados}}{\# \text{ Frutos totales}} * 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$



Figura 1. Sintomatología interna de antracnosis en aguacate Hass.
Fuente: Autor

6.7.2 Severidad

Por medio de un calibrador pie de rey se determinó el daño generado por la enfermedad en el fruto, se realizó la lectura del diámetro de crecimiento del patógeno en los puntos con presencia de la enfermedad.

6.7.3 Análisis de color

La lectura de color se obtuvo en escala CIELAB (L^* , a^* , b^*) con un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta). Por cada tratamiento, se midió el color en puntos distal y ecuatorial de la superficie de cada fruto. Se calculó el índice cromático con la ecuación 2 (López Camelo & Gómez, 2004).

$$IC: (2000 \cdot a) / L \cdot (a^2 + b^2)^{0.5} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde IC es el índice cromático; a, b y L son los valores medidos en la escala CIELAB a cada muestra.

6.7.4 Rigidez

La rigidez del aguacate se midió usando un penetrómetro (Wagner Instruments, serie FDK40) con un diámetro de embolo de 5 mm y se registró el valor de la fuerza aplicada sobre la superficie del fruto con cáscara en $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$.

6.7.5 Pérdida de electrolitos

Los daños en el tejido de la cáscara del fruto producto de la postcosecha del fruto, se miden indirectamente a través de la medición de la conductividad de una muestra de cáscara. Con ayuda de un sacabocados se retiró un 1cm² de la cáscara del fruto, se depositó en un vaso de precipitado con agua destilada, y cada 3 minutos se realizó agitación. Pasados 10 min se realizó la lectura de conductividad eléctrica con un medidor multiparamétrico (CPN, modelo 8 en 1).

6.7.6 Contenido de humedad y materia seca

En una caja de Petri se pesaron 5g de pulpa, se sometieron a secado en un horno convección forzada, a una temperatura de 120 ° C por 2 h. Se calculó el porcentaje de humedad (H) con la ecuación 3 (Rojas & Aristizábal, 2012)

$$H (\%) = \frac{(p_i - p_f)}{p_i} * 100 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde H (%) es el porcentaje de humedad, pi peso inicial de la muestra (g) y pf peso final de la muestra (g).

Con el dato obtenido de humedad, se calculó el porcentaje de materia seca (MS) con la ecuación 4

$$MS (\%) = 100 - H \quad \text{Ecuación 4.}$$

6.7.7 pH y acidez titulable

Se maceraron 25 g de pulpa de aguacate con 25 mL de agua destilada, la muestra es filtrada y el líquido se usó para el análisis. Se midió el pH con un pHmetro estándar previamente calibrado.

La acidez total se midió titulando 2 mL de la muestra macerada con hidróxido de sodio (NaOH, 0.1 M) usando fenolftaleína como indicador (1%). El cálculo de la acidez total se realizó con la ecuación 5 (Kassim & Workneh, 2020), se usó un factor

de conversión 0.28 basado en el ácido linoleico, predominante en el aceite de aguacate (Maftoonazad & Ramaswamy, 2008).

$$AT = (0.1 \times \text{mL NaOH} \times 0.28 \times 1000) / s \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde AT es la acidez titulable; mL NaOH = el volumen de NaOH (0.1 M) en la titulación, 0.28 es el factor de conversión y s es el volumen de la muestra (mL).

6.8 Análisis estadístico

En cada dato obtenido, se reportó el promedio y la desviación estándar de tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y cuando se encontraron diferencias significativas (valor $p < 0.05$), se realizó una prueba comparativa de rangos múltiples de Tukey para establecer las diferencias entre los tratamientos. Todos los análisis estadísticos se harán en el software JMP SAS (versión 18, JMP Statistical, Estados Unidos).

7. Resultados y discusión

7.1 Análisis *in vitro* membrana difusora:

En la Tabla 6 se evidencian los resultados obtenidos del crecimiento del patógeno a nivel *in vitro*, el tratamiento correspondiente a tamaño de membrana 1/2 generó un mayor control sobre el diámetro de crecimiento del patógeno sin importar el tiempo de almacenamiento, al realizar una comparación entre el tratamiento 1/2 y el control en los días 7, 8 y 10 el porcentaje de inhibición fue mayor al 50%, el tratamiento 1/4 generó un menor diámetro de crecimiento respecto al control, no obstante, el tratamiento 1/2 genera una mayor inhibición del crecimiento del patógeno.

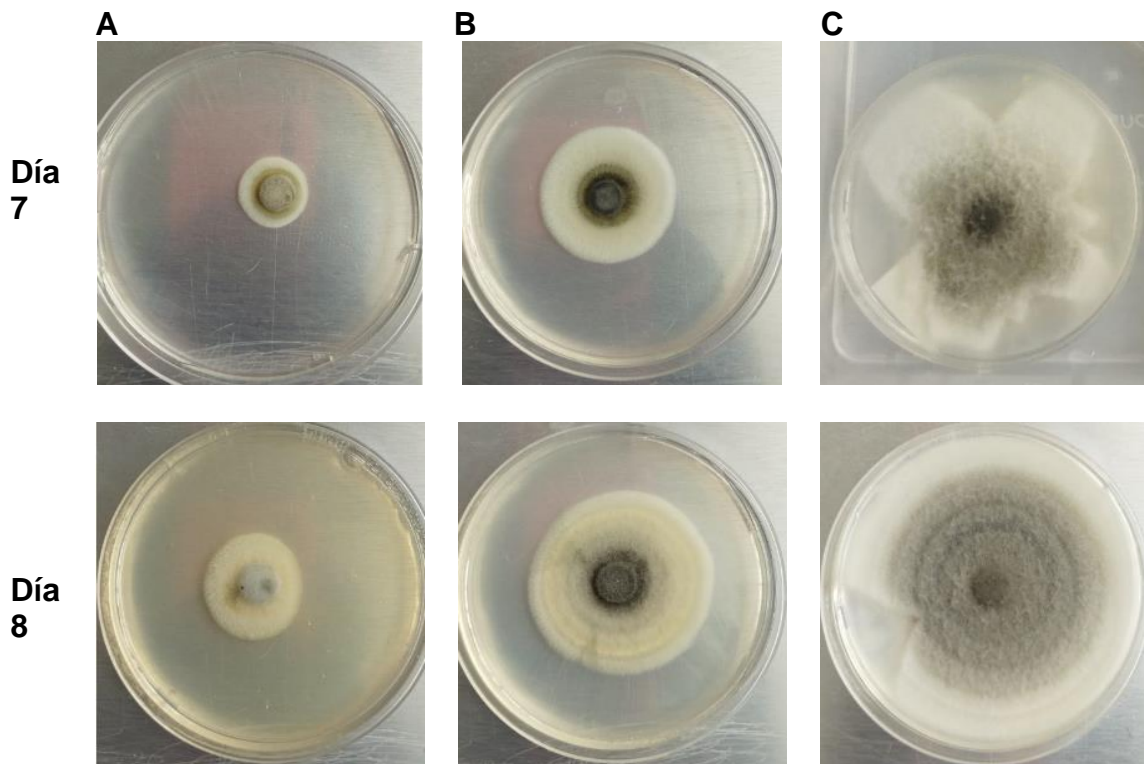
Tabla 6. Diámetro de crecimiento *in vitro* de *Colletotrichum sp*, en relación con el tamaño de membrana y tiempo de almacenamiento.

	Diámetro de crecimiento (cm)		
Tratamiento	Día 7	Día 8	Día 10

1/2	2,0 ± 1,3 ^a	2,6 ± 1,5 ^a	4,1 ± 1,3 ^a
1/4	4,0 ± 0,7 ^b	4,8 ± 0,6 ^b	6,5 ± 0,4 ^b
Control	7,2 ± 0,3 ^c	7,6 ± 0,5 ^c	10,0 ± 0 ^c

*El tratamiento 1/2 corresponde al tamaño de membrana 22 cm ancho x 11 cm alto y 1/4 corresponde al tamaño de membrana 11 cm ancho x 6 cm de alto. Los datos presentados son el promedio de 3 repeticiones ± la desviación estándar. Columnas con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En la Figura 2, se presenta el crecimiento del patógeno *Colletotrichum sp.* en medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), las imágenes rotuladas con la letra A, corresponden al tratamiento tamaño de membrana ½, el tamaño de membrana ¼ está representado por la letra B y el control por la letra C. De igual forma, se presenta el comportamiento del patógeno al transcurrir los días de almacenamiento, siendo estos 7 días, 8 días y 10 días.



Día
10



Figura 2. Crecimiento *in vitro* de *Colletotrichum sp.* con relación a los tratamientos A. 1/2; B. 1/4; C. Control después de 7,8 y 10 días de almacenamiento. Fuente: Autor.

El uso del tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ tiene un mayor efecto sobre el control de *Colletotrichum sp.*, la cantidad de aceite esencial es directamente proporcional al tamaño de membrana, es decir, a mayor tamaño de membrana mayor será la cantidad de aceite. Estudios han demostrado que los aceites esenciales son considerados sustancias antimicrobianas, cuyos compuestos inhiben el desarrollo de patógenos fúngicos (Zaker, 2016), en este caso la membrana $\frac{1}{2}$ generó un mayor control del patógeno respecto al control.

El aceite esencial de citronela tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de *Colletotrichum sp.* (Sellamuthu et al., 2013). Un estudio *in vitro* realizado con esporas de este patógeno cultivadas en agar PDA, demostró que una concentración del aceite esencial del 0,75% impidió en su totalidad el desarrollo y la esporulación del patógeno (Nascimento et al., 2020). Este potencial antifúngico se atribuye al alto contenido de Citral del AE, ya que este cuenta con la capacidad de reducir la germinación de esporas del patógeno (Tzortzakis & Economakis, 2007). En este mismo estudio se analizaron aceites esenciales de árbol de té, romero y copaiba, en estos 3 casos el porcentaje de inhibición del patógeno es directamente proporcional a la concentración del AE, a mayor concentración del aceite esencial el porcentaje de inhibición será más alto (Nascimento et al., 2020).

7.2 Variables postcosecha con el uso de membranas difusoras:

Una vez analizado el comportamiento de inhibición de *Colletotrichum sp.* con los dos tamaños de membrana, se seleccionó el tamaño de membrana ½ para estudiar el efecto del almacenamiento de frutos de aguacate Hass a temperatura ambiente, utilizando una membrana difusora, sobre variables postcosecha como análisis de color, rigidez, conductividad, materia seca, pH y acidez titulable.

7.2.1 Análisis de color

El índice cromático (IC) se considera un parámetro de evaluación de madurez no destructivo. En la escala CIELAB (L*, a*, b*) los valores de L* representan tonalidades oscuras y claras, siendo 0 negro y 100 para blanco, a* representa tonalidades verdes y rojas, siendo negativo para tonalidades verdes y positivo para tonalidades rojizas, y para el caso de b* representa tonalidades amarillas y azules, siendo positivo y negativo respectivamente (Minolta, 2021).

En la Tabla 7 se exponen los datos obtenidos para cada tratamiento en los diferentes días de almacenamiento, se realizó la lectura de color en las posiciones ecuatoriales y distales de cada fruto. En los datos iniciales del experimento (Día 0) se observan valores negativos para IC, mientras que en los días 7, 11 y 13 se registran valores positivos, lo cual indica la presencia de frutos verdes al inicio y frutos maduros en las fechas posteriores.

Lo anterior se puede evidenciar en la Figura 3, en esta se expone el cambio de coloración del fruto con el paso del tiempo de almacenamiento, según Henao & Rodríguez (2016) el cambio de color en la cáscara se da de verde a púrpura gracias a cambios químicos como la disminución en la clorofila y el aumento de las antocianinas.

Tabla 7. Índice cromático con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

IC					
Tratamiento	Posición	Día			
		0	7	11	13
T1-CM	Ecuatorial	-1228,1 ± 555,2	1010,08 ± 673,19	597,7 ± 152,7	628,0 ± 185,3
	Distal	-1340,3 ± 189,9	924,7 ± 71,5	296,2 ± 86,6	373,6 ± 165,3
T1-SM	Ecuatorial	-1228,1 ± 555,2	1147,7 ± 713,4	908,8 ± 342,3	370,1 ± 31,3
	Distal	-1340,3 ± 189,9	1888,6 ± 55,7	1190,4 ± 480,4	306,2 ± 4,8
Control	Ecuatorial	-899,4 ± 225,6	945,3 ± 700,9	715,0 ± 567,3	481,2 ± 177,1
	Distal	-1367,2 ± 531,1	1031,4 ± 654,4	815,6 ± 142,4	667,1 ± 518,0

*Los datos presentados corresponden al promedio y desviación estándar de 3 repeticiones.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la madurez de estos frutos se considera una maduración prematura. En un estudio realizado por (Henao & Rodríguez, 2016) se afirma que el cambio de color en la cascara de verde a tonos marrones a temperatura ambiente (23°C) se da entre 8 y 12 días, en este caso a los 7 días de almacenamiento se evidenció un notable cambio en el color del fruto (Figura 3), lo cual se atribuye a la inclusión de la membrana difusora de aceites esenciales en los empaques de los frutos.

El aceite esencial de clavo ha demostrado tener un potencial antifúngico contra *B. cinérea*, un hongo característico de la fruta fresca. No obstante, sus volátiles específicamente el eugenol (EUG) ha ocasionado cambios en los alimentos, con una mayor proporción a las propiedades organolépticas como el sabor, color y olor (Muñoz-Shugulí et al., 2021).

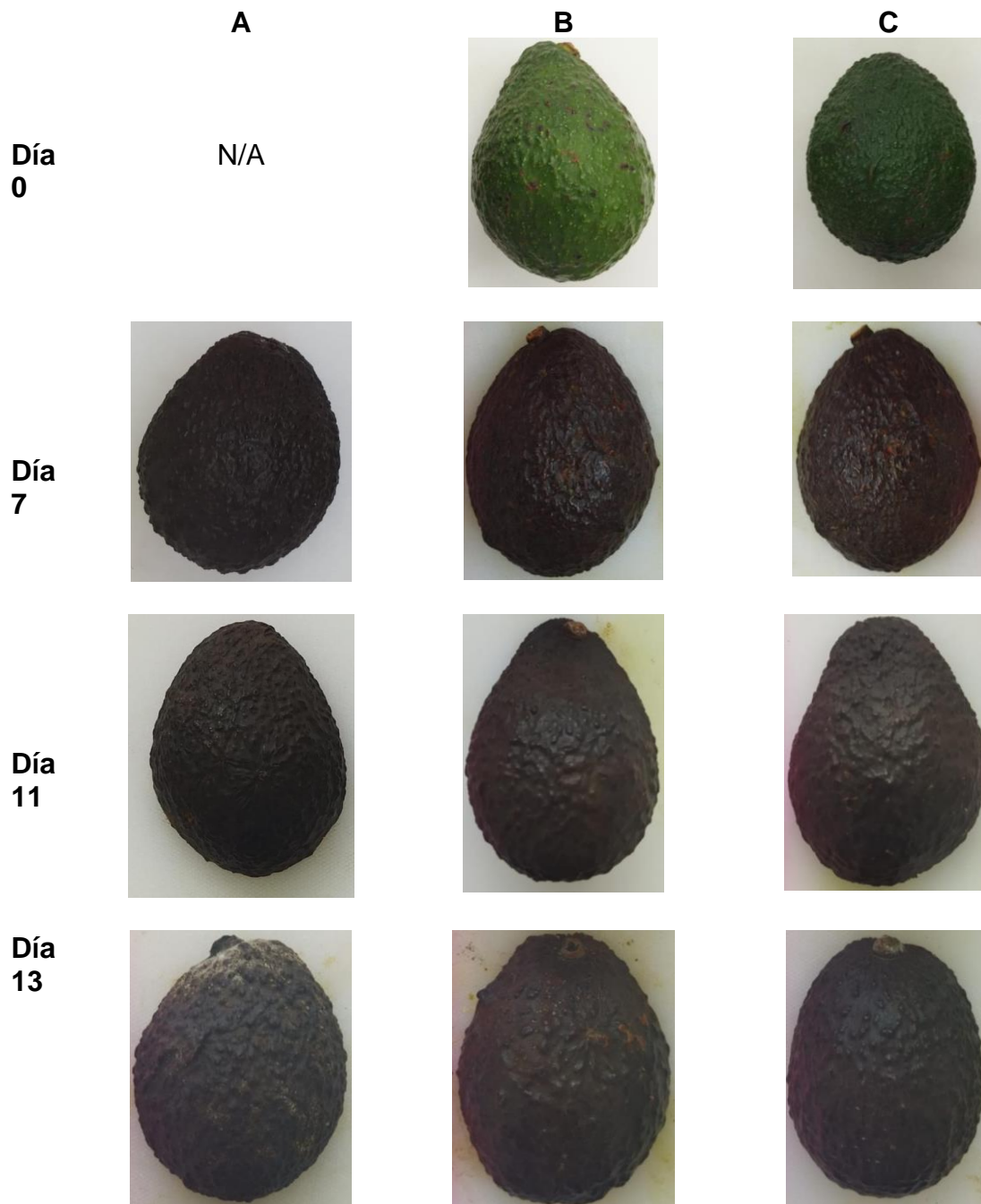


Figura 3. Coloración frutos de aguacate Hass con relación a los tratamientos A. T1-CM; B. T1-SM; C. Control en 0, 7, 11 y 13 días de almacenamiento. Fuente: Autor

7.2.2 Rigidez de los frutos

La rigidez de un fruto se describe como la resistencia a la penetración (Magwaza & Samson, 2015). En la Tabla 8 se presentan los datos obtenidos en relación con el tratamiento y los días de almacenamiento. La firmeza del fruto disminuye moderadamente a medida que madura, partiendo de 13 Kgf/cm² hasta alcanzar el punto de madurez de consumo donde cae cerca de cero, entre el día 10 y 14 de almacenamiento se presenta el descenso de la firmeza (Sandoval et al., 2017). El ablandamiento de la fruta se da como consecuencia de las modificaciones en la estructura de la pared celular generadas por la hidrólisis, la pared celular está compuesta principalmente por celulosa y pectina las cuales son degradadas por la acción enzimática de celulasa y poligalacturonasa, respectivamente (Goulao & Oliveira, 2008). La activación de estas enzimas se presenta en la etapa de maduración del fruto (Márquez et al., 2014).

Considerando los datos, la rigidez experimentó una disminución acelerada, ya que para el séptimo día de almacenamiento se registraron valores inferiores a 1 Kgf/cm², lo que sugiere que el fruto alcanzó una madurez prematura, respecto a los tratamientos no se tuvo una diferencia estadística significativa.

Tabla 8. Rigidez con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Rigidez (Kgf·cm ⁻²)				
Muestra	Día			
	0	7	11	13
T1-CM	12,3 ± 0,2 ^a	0,6 ± 0,4 ^a	0,1 ± 0,1 ^a	0 ^a
T1-SM	12,3 ± 0,2 ^a	0,4 ± 0,1 ^a	0,1 ± 0 ^a	0 ^a
Control	12,3 ± 0,5 ^a	0,6 ± 0,1 ^a	0,1 ± 0,1 ^a	0 ^a

*Los datos presentados son el promedio ± la desviación estándar de 3 repeticiones, columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

7.2.3 Pérdida de electrolitos

La conductividad (CE) representa la liberación de electrolitos en una solución (Pérez et al., 2004). En la Tabla 9 se presentan los datos obtenidos para la conductividad con relación al tiempo de almacenamiento y el tratamiento, se evidencia que se tuvo un aumento desde el día 0 al día 13, en el último día de almacenamiento los valores superiores a 100 μs representan un posible daño celular (Blakey et al., 2012) y para frutos verdes los valores oscilan entre 15 μs y 30 μs (Ahmed et al., 2010). En frutos no refrigerados el valor de (CE) aumenta con el paso del tiempo (González et al., 2017). La degradación de la membrana celular ocurre como consecuencia del proceso de maduración del fruto, lo que aumenta su permeabilidad y permite una mayor liberación de electrolitos en la solución de agua destilada, afectando negativamente la firmeza del fruto (Blakey et al., 2012).

La maduración y posibles daños en el aguacate provocan alteraciones en el balance de iones, lo que permite que la liberación de electrolitos sea mayor (Pérez et al., 2004). Entre los tratamientos no se tuvo diferencias estadísticas significativas.

Tabla 9. Conductividad con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Conductividad (μs)				
Muestra	Día			
	0	7	11	13
T1-CM	15,8 \pm 0,2 ^a	34,1 \pm 1,1 ^a	63,7 \pm 1,9 ^a	124,6 \pm 1,6 ^a
T1-SM	15,8 \pm 0,2 ^a	30,3 \pm 1,4 ^a	62,3 \pm 4,3 ^a	126,7 \pm 0,4 ^a
Control	14,4 \pm 0,3 ^a	30,5 \pm 3,7 ^a	62,1 \pm 0,9 ^a	126,6 \pm 1,3 ^a

*Los datos presentados son el promedio \pm la desviación estándar de 3 repeticiones, columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

7.2.4 Materia seca

El porcentaje de materia seca se considera una alternativa para la determinación del contenido de aceite en aguacate, este valor se asocia con la calidad del fruto donde a mayor contenido de materia seca se tiene un mejor sabor

y textura (INM, 2021). Para la cosecha, esta variable es indispensable dado que al cosechar un fruto bajo de materia seca este puede ser de menor calidad (Cerdas et al., 2014).

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos para cada tratamiento y el día de almacenamiento, se evidencia que el día 0 los frutos contaban con un contenido de materia seca mayor al 21% lo cual cumple con los requerimientos del Codex Alimentarius, dado que los frutos deben alcanzar un contenido mínimo de materia seca en la cosecha del 21% (CODEX, 1995). La literatura reporta porcentajes de materia seca de 22,04 %, 22,58 %, 21,73% en 3 fincas exportadoras del departamento de Antioquia (Astudillo & Rodríguez, 2018).

Al transcurrir el tiempo de almacenamiento se tuvo un aumento de materia seca, para el día 13 los frutos presentaron un mayor contenido de materia seca respecto al día 0, esto permite evidenciar que el contenido de materia seca varía a medida que avanza la madurez en el fruto, principalmente por la pérdida de agua durante el almacenamiento, modificando de igual forma la firmeza del fruto (Sandoval et al., 2017). En esta variable los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas.

Tabla 10. Materia seca con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Materia Seca (% , b.h.)				
Muestra	Día			
	0	7	11	13
T1-CM	21,3 ± 0,1 ^a	19,7 ± 1,2 ^a	22,4 ± 6,0 ^a	22,2 ± 1,4 ^a
T1-SM	21,3 ± 0,1 ^a	22,3 ± 1,9 ^a	22,6 ± 2,4 ^a	23,4 ± 3,5 ^a
Control	22,6 ± 2,3 ^a	22,3 ± 0,3 ^a	24,5 ± 6,6 ^a	25,2 ± 4,7 ^a

*Los datos presentados son el promedio ± la desviación estándar de 3 repeticiones, columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas (p<0.05). b.h.= Base húmeda.

7.2.5 pH

La concentración de hidrogeno se expresa en valores de pH, se considera un valor que mide el estado ácido o alcalino de una solución e indica la cantidad de iones de hidrogeno (H+) (Canela, 2014). (Salgado et al., 2012) concluyeron que el pH de un fruto de aguacate Hass aumenta en la etapa de madurez hasta acercarse o llegar a la neutralidad durante el periodo de almacenamiento, en la Tabla 11 se evidencia el incremento en los valores de pH al transcurrir los días de almacenamiento desde 6,3 a 7 unidades sin presentar diferencias estadísticas en los tratamientos, sin embargo, este cambio se tuvo a los 13 días de almacenamiento mientras que en la literatura se reportan cambios de 6,41 a 6,83 a los 21 días de almacenamiento (Márquez et al., 2014), lo cual concuerda con lo reportado por Astudillo & Rodríguez (2018) en donde el pH presento valores de 6,5 a 7,1.

El comportamiento descrito anteriormente tiene una relación inversa a el contenido de ácidos orgánicos del fruto, en frutos climatéricos como el aguacate Hass el pH aumenta (Sandoval et al., 2017) dado que en el periodo de maduración los ácidos tienden a disminuir gracias a que se consumen en ciclos metabólicos y por lo tanto el pH tiende a aumentar (Astudillo & Rodríguez, 2018).

Tabla 11. pH con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

pH				
	Día			
Muestra	0	7	11	13
T1-CM	6,4 ± 0,1 ^a	6,6 ± 0,1 ^a	6,6 ± 0,1 ^a	6,9 ± 0,2 ^a
T1-SM	6,4 ± 0,1 ^a	6,7 ± 0,1 ^a	6,8 ± 0,1 ^a	7,1 ± 0,5 ^a
Control	6,3 ± 0,1 ^a	6,7 ± 0,1 ^a	6,8 ± 0,3 ^a	7,0 ± 0,3 ^a

*Los datos presentados son el promedio ± la desviación estándar de 3 repeticiones, columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

7.2.6 Acidez titulable

La medición de la acidez titulable permite conocer la concentración de ácidos totales en un alimento (L. Moreno & Deaquiz, 2016). En la Tabla 12 se observa una

disminución del porcentaje de acidez expresado en ácido linoleico, los valores de un fruto verde se encuentran en 7% mientras que un fruto maduro es de 1,5% sin tener diferencias significativas entre los tratamientos, este comportamiento se relaciona con lo reportado en la literatura, dado que se reportan disminuciones de un fruto verde a un fruto maduro por la conversión de los ácidos orgánicos de aproximadamente el 6%, el ácido linoleico se acumula en diferentes cantidades dependiendo el estado de madurez del fruto (Pedreschi et al., 2014).

Según Astudillo & Rodríguez (2018) la acidez titulable tiende a disminuir durante el almacenamiento y maduración de los frutos, de igual forma los ácidos palmítico, palmitoleico y oleico disminuyen de un fruto verde a maduro en 3 localidades productoras en México (Guzmán et al., 2017) .

Este cambio se atribuye al consumo de los ácidos orgánicos como el ácido tartárico y málico que son utilizados para generar la energía que el fruto requiere en el proceso de maduración además de la actividad respiratoria, la respiración contribuye al ablandamiento de las paredes del fruto, lo que conlleva a una disminución en la firmeza (Astudillo & Rodríguez, 2018).

Tabla 12. Acidez titulable con relación al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Acidez titulable (% Ácido Linoleico)				
	Día			
Muestra	0	7	11	13
T1-CM	7,7 ± 0,1 ^a	3,7 ± 0,3 ^a	1,9 ± 0,5 ^a	1,5 ± 0,2 ^a
T1-SM	7,7 ± 0,1 ^a	2,5 ± 0,3 ^a	2,2 ± 1,5 ^a	1,4 ± 0,3 ^a
Control	7,6 ± 0,9 ^a	3,4 ± 1,1 ^a	2,2 ± 0,5 ^a	1,4 ± 0,3 ^a

*Los datos presentados son el promedio ± la desviación estándar de 3 repeticiones, columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

Los datos obtenidos en las variables postcosecha muestran una relación consistente con los valores reportados en la literatura. Además, los cambios en estas variables están interrelacionados, destacando el papel clave de la maduración

en cada una de ellas, independientemente del tratamiento de campo aplicado a los frutos.

7.3 Incidencia y severidad de la enfermedad:

Para la evaluación de incidencia y severidad se analizaron dos tamaños de membrana $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$, en las siguientes tablas se presenta el promedio, la desviación estándar y el análisis estadístico de los datos ($p < 0.05$) de los tratamientos descritos en la Tabla 5.

7.3.1 Incidencia

En frutos de aguacate Hass inoculados, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la incidencia al comparar los tamaños de membrana $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$, todas las unidades experimentales presentaron crecimiento del patógeno en las heridas inoculadas (Tabla 13).

Tabla 13. Incidencia de la enfermedad en los tratamientos con tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$.

Incidencia			
Tratamiento		Membrana 1/2	Membrana 1/4
CMI	Con membrana inoculados	100% ^a	100% ^a
CMSI	Con membrana sin inocular	0% ^b	0% ^b
SMI	Sin membrana inoculados	100% ^a	100% ^a
SMSI	Sin membrana sin inocular	0% ^b	0% ^b

*Columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

7.3.2 Severidad

Respecto a la severidad (Tabla 14) en el tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ el tratamiento CMI presentó un mayor crecimiento del patógeno respecto al tratamiento SMI, el análisis estadístico nos indica que no se tienen diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, la severidad de la enfermedad con el tamaño de membrana $\frac{1}{4}$ mostró diferencias estadísticas significativas, los frutos inoculados y almacenados con membrana presentaron un menor crecimiento del

patógeno respecto a los frutos inoculados y almacenados sin membrana. En la Tabla 14 se observa una reducción en alrededor del 34% en la severidad de la enfermedad en frutos almacenados con la membrana difusora, esto nos demuestra que el tamaño de membrana afecta la actividad antifúngica, en este caso, se logra un mayor control sobre la severidad de la enfermedad al utilizar un tamaño de membrana de ¼, lo que puede traducirse en una reducción de los costos.

Tabla 14. Severidad de la enfermedad en los tratamientos con tamaño de membrana ½ y ¼.

Severidad (cm)			
Tratamiento		Membrana 1/2	Membrana 1/4
CMI	Con membrana inoculados	1,5 ± 0,3 ^a	1,7 ± 0,7 ^b
CMSI	Con membrana sin inocular	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^c
SMI	Sin membrana inoculados	0,9 ± 0,1 ^a	2,4 ± 0,6 ^a
SMSI	Sin membrana sin inocular	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^c

*Los datos presentados son el promedio ± la desviación estándar de 2 repeticiones, columna con diferente letra indica diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

La concentración del aceite esencial es un parámetro que puede afectar el desarrollo del fruto, a pesar de poseer características antifúngicas se pueden tener efectos secundarios que conllevan a tener inconvenientes en las propiedades organolépticas (sabor, color y olor), son termolábiles por lo que no se pueden aplicar a altas temperaturas y gracias a su naturaleza volátil se puede perder su efecto antifúngico con el paso del tiempo (Shugulí et al., 2021). Lo anterior demuestra que posiblemente, un mayor tamaño de membrana resulta en una mayor concentración del aceite esencial en el sistema, lo que impide que la actividad antifúngica se desarrolle de manera eficaz.

Es importante determinar la concentración del aceite esencial adecuada para la actividad antifúngica y evitar efectos negativos en el fruto (El-Ramady et al., 2014). Estudios sugieren realizar encapsulaciones del aceite esencial para la liberación controlada de compuestos específicos evitando la sobrecarga de volátiles en un sistema, en frutos de guayaba (*Psidium guajava L.*) la efectividad de la

encapsulación de citral se evaluó por medio de parámetros como la pérdida de peso, el cambio de color, sólidos solubles totales, acidez e índice de maduración, los resultados arrojaron una mejor apariencia en los frutos tratados con relación a los frutos no tratados por 15 días de almacenamiento (Socha & Cuellar, 2020).

En la Figura 4 se observan los niveles de severidad para los tamaños de membrana en los frutos inoculados con *Colletotrichum sp.*, se evidencian 4 clasificaciones de la severidad, leve, moderada, fuerte y muy fuerte.

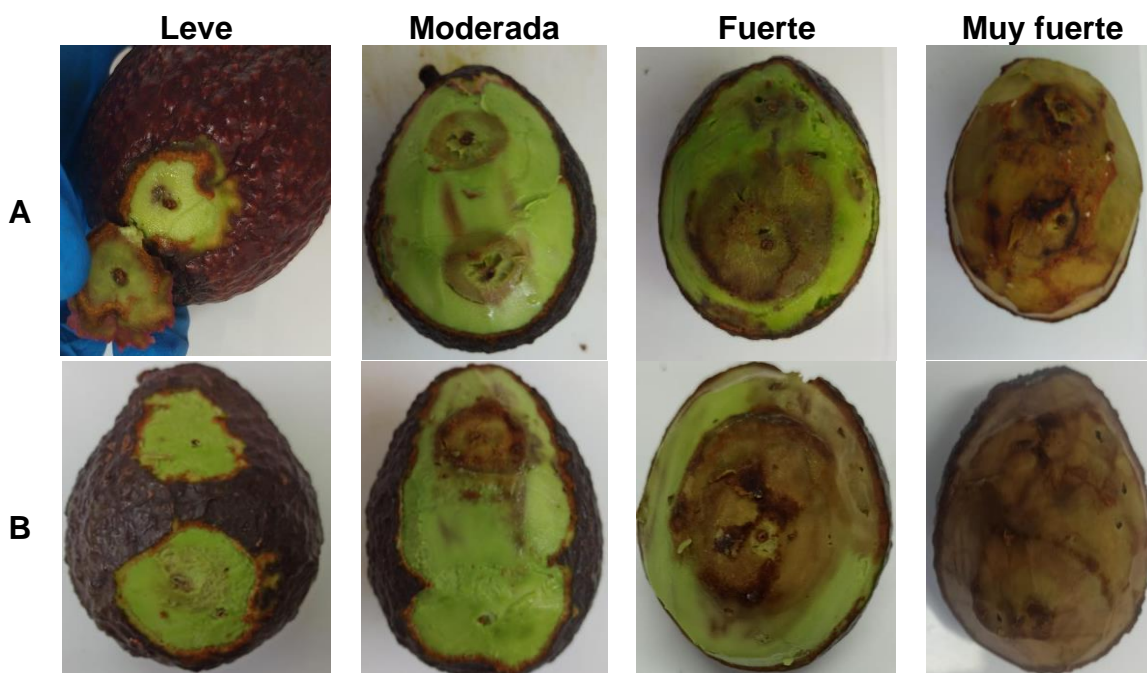


Figura 4. Niveles de severidad en frutos inoculados y tamaño de membrana A. 1/2; B. 1/4. Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos a nivel *in vitro* e *in vivo* presentan diferencias, a nivel *in vitro* el tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ tuvo un mayor efecto inhibitorio sobre *Colletotrichum sp.*, mientras que a nivel *in vivo* el mayor efecto lo presentó la membrana $\frac{1}{4}$. El contacto directo del volátil del aceite esencial con el patógeno genera actividad antifúngica afectando directamente el desarrollo micelial (Velásquez et al., 2015), no obstante, en los frutos de aguacate Hass el volátil no tiene contacto directo con la enfermedad.

De manera similar, en el estudio realizado por J. Moreno (2011) se evaluó la actividad antifúngica de *Zanthoxylum monophyllum* sobre *Fusarium oxysporum* en clavel (*Dianthus caryophyllus*), los resultados presentaron actividad inhibitoria a nivel *in vitro* mientras que en los ensayos *in vivo* no se tuvo ninguna actividad.

8. Conclusiones

- A nivel *in vitro* el tamaño de membrana $\frac{1}{2}$ presentó un mayor efecto inhibitorio del crecimiento de *Colletotrichum sp.* bajo condiciones controladas en cámara climática a 22 °C y 60 %HR, presentando una eficacia del 50% respecto al control.

- Las variables postcosecha no presentaron diferencias en función del tratamiento evaluado. La inclusión de la membrana en frutos tratados en campo, en comparación con los frutos almacenados sin membrana, no alteró estas variables. Sin embargo, se observó madurez prematura en todos los frutos debido a que el almacenamiento se realizó a 22 °C y 80 %HR junto con la membrana difusora, la cual posiblemente altera la maduración del fruto.

- El tamaño de membrana es fundamental en el control de antracnosis, a nivel *in vivo* el tamaño de membrana con mayor control corresponde a $\frac{1}{4}$ con una eficacia del 34 % respecto al tratamiento sin membrana bajo condiciones exportación.

9. Referencias

- AGQ. (2019). *Análisis de Prochloraz y residuos de pesticidas - AGQ Labs Colombia*.
<https://agqlabs.co/2019/08/26/analisis-de-prochloraz-y-residuos-de-pesticidas/>
- Ahmed, D., Yousef, A., & Hassan, H. (2010). Relationship between electrical conductivity, softening and color of avocado fruits during ripening. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1.
- ANALDEX. (2024). *Informe exportaciones de aguacate Hass septiembre 2023*. Asociación Nacional de Comercio Exterior.
<https://www.analdex.org/2022/12/13/informe-exportaciones-de-aguacate-hass-septiembre-2022/>
- Asohofrucol. (2024). *Panorama de exportaciones hortifrutícolas Colombianas 2023*.
- Astudillo, C., & Rodríguez, P. (2018). Parámetros fisicoquímicos del aguacate *Persea americana* Mill. cv. Hass (Lauraceae) producido en Antioquia (Colombia) para exportación. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria.*, 19(2), 383–392.
- Balaguera, H., & Herrera, A. (2012). Estudio de algunos cambios bioquímicos durante el crecimiento y hasta la cosecha del fruto de Champa (*Campomanesia lineatifolia*). In *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal-SP* (Vol. 2012, Issue 2).
- Bertoli, A., Pistelli, L., Morelli, I., Fraternali, D., Giamperi, L., & Ricci, D. (2004). Volatile constituents of micropropagated plants of *Bupleurum fruticosum* L. *Plant Science*, 167(4), 807–810.
<https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2004.05.017>
- Blakey, R., Tesfay, S., & Bertling, I. (2012). Ripening and postharvest performance of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) in response to pre-harvest potassium applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

- Bolivar, K., Sanabria, M., Rodríguez, D., Camacaro, M., Ulacio, D., Cumana, L., & Crescente, O. (2009). Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo in vitro del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. *Consejo de Investigación: Revistas Científicas*.
- Camargo Piñeres, Y., Zambrano Montenegro, G., Ortega-Cuadros, M., Gutierrez Montero, D. J., Yepes, J. A., Camargo Piñeres, Y., Zambrano Montenegro, G., Ortega-Cuadros, M., Gutierrez Montero, D. J., & Yepes, J. A. (2021). Actividad antifúngica in vitro del aceite esencial de *Swinglea glutinosa* Merr sobre *Colletotrichum* sp. patógeno de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 62–71. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.BIOTE.V23N1.88025>
- Canela, M. (2014). *Potencial de hidrogeno - pH*. 4.
- Carrillo, A., García, R., Rangel, M., Sañudo, A., Márquez, I., & Allende, R. (2004). Control Biológico de Antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] y su Efecto en la Calidad Poscosecha del Mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA*, 24–30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61223104>
- Cerdas, M., Moreno, M., & Somarribas, O. (2014). Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (*Persa americana*) cultivar Hass en zona intermedia de producción de de los Santos Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 38(1).
- CODEX. (1995). Norma del Codex para el aguacate (CODEX STAN 197-1995). *Codex Alimentarius*, 1–5.
- De Silva, D. D., Crous, P. W., Ades, P. K., Hyde, K. D., & Taylor, P. W. J. (2017). Life styles of *Colletotrichum* species and implications for plant biosecurity. In

- Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Díaz, A., Arboleda, T., & Ríos, L. (2019). Biological control strategies used for the management of anthracosis caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in mango fruits: A Systematic Review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 595–611.
- Dubey, R. K., Kumar, R., Jaya, Chansouria, J. P. N., & Dubey, N. K. (2008). Evaluation of amomum subulatum roxb oil as a source of botanical fungitoxicant for the protection of mango fruits from fungal rotting. *Journal of Food Safety*, 28(3), 400–412. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4565.2008.00108.X>
- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D. A., & Orlova, I. (2007). Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5), 417–440. <https://doi.org/10.1080/07352680600899973>
- El-Ramady, H., Szabolcsy, É., Abdalla, N., Taha, H., & Fári, M. (2014). Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agriculture Reviews*, 15, 65–152.
- España, M. D., Arboleda, J. W., Ribeiro, J. A., Abdelnur, P. V., & Guzman, J. D. (2017). Eucalyptus leaf byproduct inhibits the anthracnose-causing fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. *Industrial Crops and Products*, 108, 793–797. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.08.002>
- Gil, L. (2018). *Uso de aceites esenciales como alternativa antimicrobiana contra infecciones de tipo bacteriano.*

- Giuggioli, N. R., Chiaberto, G., & da Silva, T. M. (2021). Quality Evaluation of the Ready-to-Eat Avocado cv. Hass. *International Journal of Food Science*, 2021, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/6621449>
- González, B., Corrales, J., Colinas, B., & Ybarra, C. (2017). Identificación de variables correlacionadas con el daño por frío en Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). *Agrociencia*, 51(2).
- Goulao, L., & Oliveira, C. (2008). Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science & Technology*, 19(1), 4–25.
- Grisales, N., Rodríguez, P., Correa, G., & Tamayo, P. (2019). *Inventario de los principales fitopatógenos de poscosecha y defectos de calidad de los frutos de aguacate (Persea americana Mill cv. Hass) Agro.*
- Guédez, C., Cañizalez, L., Avendaño, L., Scorza, J., Castillo, C., Olivar, R., Méndez, Y., & Sánchez, L. (2014). Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, 34(2), 81–87. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562014000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Guédez, C., & Rodríguez, D. (2021). Quiescent infections by *Colletotrichum gloeosporioides* in the different development stages of the guava fruit (*Psidium guajava* L.) in two production seasons. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 38(4), 751–770. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n4.01](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n4.01)
- Gutiérrez, J., Gutiérrez, A., Nieto, A., Téliz, D., Zavaleta, E., & Delgadillo, F. (2004). Manejo Integrado de la Antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del Mango (*Mangifera indica* L.) durante la Postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22, 395–402. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222313>

- Guzmán, S., Osuna, J., & Herrera, J. (2017). Efecto de localidad y madurez sobre el perfil de ácidos grasos del fruto de aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Henao, J., & Rodríguez, P. (2016). Evaluation of color during avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) ripening. *Agronomía Colombiana*, 1, 876–879. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58092>
- Hernández, A., Martín, R., Saldarriaga, F., Sierra, D. M., & Copete, E. (2018). *Potencialidades en la producción de aguacate Hass en el Departamento de Antioquia*.
- Hernandez, L., Zulueta, R., Angulo, C., Rueda, E., Quiñonez, E., & Galicia, R. (2017). Marine yeasts and bacteria as biological control agents against anthracnose on mango. *Journal of Phytopathology*, 165(11–12), 833–840. <https://doi.org/10.1111/JPH.12623>
- Ibrahim, A. M., Fekiya, M., Idris, A., Mohammed, I., & Fikreyesus Forsido, S. (2015). Essential Oils to Control *Colletotrichum musae* in vitro and in vivo on Banana Fruits. *J. Agric. & Environ. Sci*, 15(3), 291–302. <https://doi.org/10.5829/idosi.aej.2015.15.3.12551>
- INM. (2021). Guía para la determinación de materia seca en aguacate hass por secado en estufa convencional. *Instituto Nacional de Metrología*, 1, 12–13.
- Jayawardena, R. S., Bhunjun, C. S., Hyde, K. D., Gentekaki, E., & Itthayakorn, P. (2021). *Colletotrichum*: lifestyles, biology, morpho-species, species complexes and accepted species. *Mycosphere*, 12(1), 519–669. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/12/1/7>
- Kamiyama, M., Soeda, T., Nagajima, S., & Tanaka, K. (2012). Development and application of high-strength polyester nanofibers. *Polymer Journal* 2012 44:10, 44(10), 987–994. <https://doi.org/10.1038/pj.2012.63>

- Kassim, A., & Workneh, T. S. (2020). Influence of postharvest treatments and storage conditions on the quality of Hass avocados. *Heliyon*, 6(6), e04234. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04234>
- Kumar, P., & Tiwari, A. K. (2013). Identification and phylogenetic correlation among *Colletotrichum gloeosporioides* pathogen of anthracnose for mango Mango malformation management View project Guava disease management View project. *Article in Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.04.001i>
- Landero-Valenzuela, N., Lara Viveros, F. M., Andrade Hoyos, P., Alfonso, L., Graciano, A. P., & Rodríguez, J. A. (2016). Alternatives for the control of *Colletotrichum* spp . *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5).
- Ledezma, A., Romero, J., Hernández, M., Moggio, I., Arias, E., Padrón, G., Orozco, V., Martínez, A., Martínez, C., Torres, S., Ledezma, A., Romero, J., Hernández, M., Moggio, I., Arias, E., Padrón, G., Orozco, V., Martínez, A., Martínez, C., & Torres, S. (2014). Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia* sp.) y su electrohilado polimérico. *Superficies y Vacío*, 27(4), 133–140. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-35212014000400133&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Li, X. yu, Du, X. long, Liu, Y., Tong, L. jing, Wang, Q., & Li, J. long. (2019). Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Scientia Horticulturae*, 257, 108685. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.108685>
- López Camelo, A. F., & Gómez, P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22(3), 534–537. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000300006>

- López, M. E., Del Toro, C. L., Ochoa, S., Aguilar, J. A., Martínez, O., Madrigal, J. A., Robles, M. A., Bernal, A. T., Ávila, M. G., Guerrero, P. J., & Gutiérrez, M. (2022). Antagonismo de cepas de *Trichoderma* spp. aisladas en Tanaxuri, Michoacán, México contra patógenos del aguacate (*Persea americana* Mill). *Biotecnia*, 25(1). <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1726>
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2008). Effect of pectin-based coating on the kinetics of quality change associated with stored avocados. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32(4), 621–643. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2008.00203.X>
- Magwaza, L., & Samson, T. (2015). A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1995–2011.
- Marcos, L., Terashima, A., Samalvides, F., Alvarez, H., Lindo, F., Tello, R., Canales, M., Demarini, J., Gotuzzo, E., Heredia, C., & -Perú, L. (2005). Tiabendazol para el control de la infección por *Strongyloides stercoralis* en una zona hiperendémica en el Perú. *Revista de Gastroenterología Del Perú*, 25(4), 341–348. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1022-51292005000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Márquez, C., Yepes, D., Sanchez, L., & Osorio, J. (2014). Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. “Hass”) en postcosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios*, 19(1), 32–47.
- Mejía, L. C., Rojas, E. I., Maynard, Z., Bael, S. Van, Arnold, A. E., Hebbbar, P., Samuels, G. J., Robbins, N., & Herre, E. A. (2008). Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biological Control*, 46(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2008.01.012>
- Mele, E. (2020). Electrospinning of essential oils. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/POLYM12040908>

- Minolta. (2021). Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B*. *Konica Minolta*.
- Morales, R., & Henríquez, G. (2021a). Aislamiento e identificación del moho causante de antracnosis en musa paradisíaca I. (plátano) en cooperativa san carlos, el salvador y aislamiento de mohos y levaduras con capacidad antagonista. *Crea Ciencia*, 13, 84–94.
- Morales, R., & Henríquez, G. (2021b). Aislamiento e identificación del moho causante de antracnosis en musa paradisíaca I. (plátano) en cooperativa san carlos, el salvador y aislamiento de mohos y levaduras con capacidad antagonista. *Crea Ciencia Revista Científica*, 13(2). <https://doi.org/10.5377/creaciencia.v13i2.11825>
- Moreno, J. (2011). Actividad antifúngica de los extractos vegetales de Piper eripodon y Zanthoxylum monophyllum y sus metabólicos secundarios mayoritarios sobre dos hongos fitopatógenos de clavel (*Dianthus caryophyllus*). *Universidad Nacional de Colombia*.
- Moreno, L., & Deaquiz, Y. (2016). Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). *Agroindustria y Ciencia de Los Alimentos*, 130–136.
- Nascimento, D. M. do, Santos, P. L. dos, Ribeiro-Junior, M. R., Sartori, M. M. P., & Kronka, A. Z. (2020). Essential oils control anthracnose in pepper seeds. *Research, Society and Development*, 9(10), e7619109028. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9028>
- Ochoa, C. I., Benítez, J. P., Sánchez, A. del P., Bolaños, C. J., Bernal, L. J., Vélez, C. A., & Sandoval, A. P. (2021). Cambios fisicoquímicos del aguacate Hass durante el almacenamiento frío y la maduración acelerada. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2). <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1490>

- Oliver, L. (2021). *Citrosol participa en tres eventos internacionales sobre aguacate, mango y cítricos*. <https://www.phytoma.com/noticias/noticias-de-empresas/citrosol-participa-en-tres-eventos-internacionales-sobre-aguacate-mango-y-citricos>
- OMS. (2022). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- Pacheco, C. (2020). *Prochloraz, cambio en límites no frenarían incorporación de fungicidas biológicos - Redagrícola*. <https://www.redagricola.com/prochloraz-cambio-en-limites-no-frenarian-incorporacion-de-fungicidas-biologicos/>
- Pataquiva, A., & Coba, S. (2018). Producción de nanofibras poliméricas mediante el proceso de electrospinning y su uso potencial. *Revista Mutis*, 8(1), 17–33. <https://doi.org/10.21789/22561498.1375>
- Pedreschi, R., Muñoz, P., Robledo, P., Becerra, C., Defilippi, B., Eekelen, H., Mumm, R., & Westra, E. (2014). Metabolomics analysis of postharvest ripening heterogeneity of ‘Hass’ avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 172–179.
- Pérez, A., Saucedo, C., Arévalo, L., & Muratalla, A. (2004). Effect of the maturity stage on postharvest quality and shelf life in mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruits. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2), 133–139.
- Pérez Cordero, A., Chamorro Anaya, L., & Gomez, J. M. (2021). Inhibición de *Colletotrichum gloeosporioides* en cultivos de ñaño en el Caribe colombiano usando aceites esenciales de *Curcuma longa* y *Zingiber officinale*. *Ciencia En Desarrollo*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.19053/01217488.v12.n1.2021.10510>
- Pérez Cordero, A., Vitola Romero, D., & Chamorro Anaya, L. (2018). Actividad del aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum*) contra *Colletotrichum*

- gloeosporioides de ñame (*Dioscorea alata*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.667>
- Rabari, V. P., Chudashama, K. S., & Thaker, V. S. (2018). In vitro Screening of 75 Essential Oils Against *Colletotrichum gloeosporioides*: A Causal Agent of Anthracnose Disease of Mango. *International Journal of Fruit Science*, 18(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/15538362.2017.1377666>
- Raveau, R., Fontaine, J., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2020). Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. In *Foods* (Vol. 9, Issue 3). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/foods9030365>
- Rodríguez, E., Gonzalez, J., & Perez, N. (2009). La Infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en Aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos Bioquímicos y Genéticos. *Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA*, 27, 53–54.
- Rojas, Á., & Aristizábal, I. (2012). Efecto del Contenido de Humedad sobre Algunas Propiedades Mecánicas de la Semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(1), 6553–6566. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000100025&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Rosero, A., Espinoza, P., & Fernández, L. (2020). Recubrimientos comestibles con materiales micro/nanoestructurados para la conservación de frutas y verduras: Una revisión. *InfoANALÍTICA*.
- Salgado, G., Patiño, J., & Cano, J. (2012). Evaluación del proceso de extracción de aceite de aguacate hass (*Persea americana* Mill) utilizando tratamiento enzimático. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 138–150.

- Sandoval, J., Hernández, M., Rodríguez, P., & Herrera, A. (2017). *Evaluation of chemical physical variables of importance for the quality of “hass” avocado (Persea americana Mill.) fruit produced in four municipalities of Colombia.*
- Scot, N. (2008). *Anthracoze of Avocado.* <http://www.ctahr.hawaii.edu/freepubs>
- Sellamuthu, P. S., Sivakumar, D., Soundy, P., & Korsten, L. (2013). Essential oil vapours suppress the development of anthracnose and enhance defence related and antioxidant enzyme activities in avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.007>
- Sharma, M., & Kulshrestha, S. (2015). Colletotrichum gloeosporioides: An Anthracnose Causing Pathogen of Fruits and Vegetables. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12(2). <https://doi.org/10.13005/bbra/1776>
- Sharopov, F., Braun, M. S., Gulmurodov, I., Khalifaev, D., Isupov, S., & Wink, M. (2015). Antimicrobial, Antioxidant, and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils of Selected Aromatic Plants from Tajikistan. *Foods*, 4(4), 645. <https://doi.org/10.3390/FOODS4040645>
- Shugulí, C., Rodríguez, F., Guarda, A., & Galotto, M. (2021). Beta-Cyclodextrin: Eugenol Inclusion Complexes: Characterization and Antifungal Capacity. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i1.9584>
- Socha, C., & Cuellar, J. (2020). Citral nanocontainers applied to guava fruits (Psidium Guajava L.) in postharvesting. *Universidad Nacional de Colombia.*
- Soto, K. (2018). *Desarrollo y caracterización de nanofibras electroestiradas con amplio espectro antimicrobiano como alternativa de empaque activo Alimentos.*
- Soto, S. (2021). *La antracnosis y la pudrición peduncular acechan la palta.* 38–42.
- Syngenta. (2022). *MERTECT® 500 SC.*

- Tzortzakis, N. G., & Economakis, C. D. (2007). Antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(2), 253–258. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2007.01.002>
- Valdés, L. A., Calero Consuegra, D. L., Gómez, A., Carballo, M. E., Capote, M., González, I., Alvarez, J. M., & Rohde, W. (2017). Caracterización morfológica, cultural y patogénica de aislados de *colletotrichum* sp. produciendo antracnosis en mango (*mangifera indica* L.). *La Granja*, 26(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.04>
- Valencia, A., Gil, P., & Rosales, M. (2020, September 15). *Botryosphaeriaceae en aguacate: agentes causales de enfermedades de la madera y pudrición peduncular del fruto*. <https://www.redagricola.com/botryosphaeriaceae-agentes-causales-de-enfermedades-de-la-madera-y-pudricion-peduncular-del-fruto/>
- Velásquez, M., Álvarez, R., Tamayo, P., & Carvalho, C. (2015). Evaluación in vitro de la actividad fungistática del aceite esencial de mandarina sobre el crecimiento de *Penicillium* sp. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 7–14. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:392
- Wen, P., Zong, M. H., Linhardt, R. J., Feng, K., & Wu, H. (2017). Electrospinning: A novel nano-encapsulation approach for bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 70, 56–68. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.10.009>
- Zakaria, L. (2021). Diversity of *colletotrichum* species associated with anthracnose disease in tropical fruit crops - A review. *Agriculture (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture11040297>
- Zaker, M. (2016). Natural Plant Products as Eco-friendly Fungicides for Plant Diseases Control- A Review. *The Agriculturists*, 14(1), 134–141. <https://doi.org/10.3329/agric.v14i1.29111>

Zapata-Narváez, Y. A., Izquierdo-García, L. F., Botina-Azaín, B. L., & Beltrán-Acosta, C. R. (2021). Efficacy of microbial antagonists and chitin in the control of *Colletotrichum gloeosporioides* in postharvest of mango cv. Azúcar. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 39(2). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2102-1>

