



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS POSCOSECHA EN
AGUACATE (*Persea americana* Mill) SOMETIDOS A CONTROL BIOLÓGICO DE
ANTRACNOSIS”

TESIS

QUE COMO TRÁMITE PARA LA EVALUACIÓN PROFESIONAL DE LA CARRERA
DE INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA

PRESENTA:

CARBAJAL MARTINEZ DIANA ALLINE

(GENERACION 46) (NO. DE CUENTA 1872321)

MODALIDAD: INDIVIDUAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EN CARN. MARTIN RUBÍ ARRIAGA

DR. EN CARN. DIEGO GIRÓN OROZCO

CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS.

MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.

NOVIEMBRE DE 2025.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
I. INTRODUCCIÓN	6
II. OBJETIVOS	9
IV. JUSTIFICACIÓN	11
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
5.1. Generalidades del cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill) y parámetros físicoquímicos poscosecha y su importancia en la calidad	12
5.1.1. pH.....	15
5.1.2. Color.....	17
5.1.3. Tamaño de frutos.....	18
5.1.4. Fenoles.....	19
5.1.5. Saponinas.....	21
5.2. Antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i>) y su impacto en los parámetros físicoquímicos	23
5.2.1. Agente causal de la antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i>)	23
5.2.2. Ciclo biológico de la antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i>)	25
5.2.3. Importancia económica de la antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i>).....	26
5.2.4. Problemática fitosanitaria del aguacate (<i>Persea americana</i> Mill) por antracnosis.....	28
5.2.5. Impacto de la antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i>) sobre el manejo poscosecha, vida de anaquel y los parámetros físicoquímicos del aguacate	30

5.2.6.	Impacto sobre la vida de anaquel del aguacate (<i>Persea americana</i> Mill)	31
5.3.	Impacto sobre el valor comercial y la exportación del aguacate (<i>Persea americana</i> Mill). 37	
5.3.1.	pH.....	40
5.3.2.	Color.....	42
5.3.3.	Fenoles.....	44
5.3.4.	Saponinas.....	45
5.4.	Control Biológico de la antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i>) a base de <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Trichodermas</i>	46
5.4.1.	Fundamentos del control biológico	46
5.4.2.	Competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo.....	48
5.4.3.	Estrategias de aplicación	49
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	50
6.1.	Ubicación del área de estudio	50
6.2.	Tratamientos de campo	51
6.3.	Determinación de pH por la NMX-F-317-S-1978 Determinación de pH EN Alimentos	52
6.4.	Determinación de fenoles y saponinas	53
6.5.	Determinación de Color	54
6.6.	Medición física de tamaño de hueso, pulpa y fruto	54
6.7.	Diseño experimental	54
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
7.1.	Propiedades físicas y fisicoquímicas de los frutos de Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) sometidos a diferentes tratamientos de <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Trichoderma harzianum</i>	56
7.1.1.	Tamaño de hueso, fruta y pulpa en los aguacates tratados en campo post cosecha. 57	
7.1.2.	Análisis de fenoles y saponinas en la pulpa de aguacate.....	61
7.1.3.	pH de la pulpa de aguacate	68

7.1.4. Color de la pulpa de Aguacate.....	72
VIII. CONCLUSIONES.....	76
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Normas aplicables al cultivo de aguacate en México (secretaría de economía, 2023)	39
Cuadro 2. Tratamientos de campo	52
Cuadro 3. Mediciones físicas realizadas a los aguacates de los diferentes tratamientos aplicados.	58
Cuadro 4. Parámetros de color CIELab de la pulpa de aguacate	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del huerto "Los Ocampo" en Cochisquila, Coatepec Harinas, Estado de México	51
Figura 2. Ubicación espacial de los tratamientos de <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Trichoderma harzianum</i> en los árboles de Aguacate.....	55
Figura 3. Evidencia fotográfica de aplicación de los distintos tratamientos experimentales....	56
Figura 4. Extracción de pulpa de aguacate para la determinación de fenoles y saponinas de distintos tratamientos en campo.	62
Figura 5. Determinación de fenoles totales en la pulpa de aguacate de los distintos tratamientos en campo, utilizando el método de solventes.....	63
Figura 6. Determinación de Saponinas totales en la pulpa de aguacate de los distintos tratamientos en campo, utilizando el método de solventes.....	67
figura 7. Identificación de parámetros de color CIELab de la pulpa de aguacate.....	74

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto del control biológico con *Bacillus subtilis* (LALBs1) y *Trichoderma harzianum* (BMH-19) sobre los parámetros fisicoquímicos poscosecha de frutos de aguacate Hass afectados por antracnosis, enfermedad causada principalmente por *Colletotrichum gloeosporioides* que representa una de las mayores causas de pérdida comercial debido al deterioro de la apariencia, la pulpa y la vida de anaquel. El estudio se desarrolló en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México, aplicando tres tratamientos biológicos —dos en campo y uno en poscosecha— con el propósito de reducir el daño del patógeno y conservar la calidad del fruto durante su maduración. Se analizaron variables clave como tamaño y peso del fruto, contenido de fenoles y saponinas, pH y parámetros de color (CIELab), utilizando un diseño experimental que permitió comparar el efecto de los tratamientos microbianos frente a frutos sin aplicación. Los resultados mostraron que los frutos tratados presentaron mayores dimensiones y peso, evidenciando menor estrés fisiológico durante el desarrollo; asimismo, conservaron niveles más altos y estables de fenoles y saponinas, compuestos asociados a la defensa antioxidante y antifúngica, lo cual indica una mejor respuesta del fruto frente al ataque del patógeno. El pH se mantuvo cercano a la neutralidad en los tratamientos con microorganismos, sugiriendo menor degradación tisular y menor avance de procesos de senescencia o deterioro en la pulpa. En cuanto al color, los frutos tratados exhibieron una pulpa más uniforme y luminosa, mientras que los frutos control mostraron oscurecimiento y heterogeneidad típicos del progreso de la antracnosis. En conjunto, los resultados confirman que *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* mejoran significativamente la calidad poscosecha del aguacate, representan una alternativa sustentable al uso de fungicidas químicos y contribuyen a mantener la competitividad del fruto en los mercados internacionales.

ABSTRACT

The present study evaluated the effect of biological control using *Bacillus subtilis* (LALBs1) and *Trichoderma harzianum* (BMH-19) on the postharvest physicochemical parameters of Hass avocado fruits affected by anthracnose, a disease primarily caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and considered one of the leading causes of commercial losses due to deterioration of fruit appearance, pulp quality, and shelf life. The research was conducted in Coatepec Harinas, State of Mexico, through three biocontrol applications, two in the field and one during postharvest, with the aim of reducing pathogen damage and preserving fruit quality during ripening. Key variables, including fruit size and weight, phenolic and saponin content, pulp pH, and color parameters (CIELab), were analyzed under an experimental design that enabled comparison between microbial treatments and untreated controls. Results showed that treated fruits exhibited greater size and weight, indicating reduced physiological stress during development. They also maintained higher and more stable levels of phenols and saponins, compounds associated with antioxidant and antifungal defense, reflecting an enhanced physiological response against pathogen attack. Pulp pH remained close to neutrality in treated fruits, suggesting less tissue degradation and a slower progression of senescence-related processes. Regarding color, treated fruits displayed a more uniform and brighter pulp, whereas control fruits showed darkening and heterogeneity typical of anthracnose progression. Overall, the findings demonstrate that *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* significantly improve the postharvest quality of avocado fruits, represent a sustainable alternative to synthetic fungicides, and contribute to maintaining the competitiveness of Mexican avocado in international markets.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate representa una de las actividades agrícolas de mayor relevancia económica a nivel nacional e internacional. Desde el año 1994, México se consolidó como el principal productor y exportador de aguacate en el mundo, gracias a sus condiciones agroclimáticas favorables, a la expansión de las áreas de cultivo y al fortalecimiento de las cadenas de comercialización. Dentro del país, los estados de Michoacán, Jalisco y Estado de México se han posicionado consistentemente como los principales productores, encabezando los tres primeros lugares tanto en volumen de producción como en exportaciones a mercados internacionales, entre los que destacan Estados Unidos, Canadá y Japón (Contreras et al., 2010; Herrera-Gonzales *et al.*, 2020).

Esta dinámica ha impulsado el desarrollo económico regional, generado empleo y contribuido de manera significativa al Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario. Asimismo, ha incentivado la investigación científica enfocada en mejorar las prácticas de cultivo, manejo poscosecha y control fitosanitario del aguacate, con el fin de mantener la competitividad y calidad del producto en los exigentes mercados globales.

La antracnosis, conocida comúnmente entre los productores como "viruela", es una de las principales enfermedades que afectan al cultivo de aguacate, particularmente a la variedad Hass. Esta patología se caracteriza por la aparición de manchas de color café oscuro, deprimidas y con forma de cráter en la superficie del fruto. El agente causal pertenece al género *Colletotrichum*, principalmente *Colletotrichum gloeosporioides* y especies afines, las cuales presentan un ciclo de infección complejo. La infección inicia cuando el conidio del hongo germina sobre la epidermis del fruto, produciendo una estructura especializada denominada apresorio, que permite la penetración directa de los tejidos mediante presión mecánica y secreción de enzimas líticas. Durante las primeras fases del desarrollo del fruto, el patógeno puede permanecer en un estado latente, sin manifestar síntomas visibles, activándose principalmente durante la maduración y las condiciones de almacenamiento poscosecha (Ávila-Quezada *et al.*, 2002). La antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) ocasiona un deterioro severo en la calidad organoléptica y visual de los frutos, afectando parámetros como la apariencia, textura y vida de anaquel. Estas pérdidas disminuyen

significativamente el volumen de producción comercializable, limitan el acceso a mercados internacionales de alta exigencia y reducen el valor económico del producto, generando un impacto negativo en la rentabilidad para los productores (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004).

En los últimos años, se han documentado crecientes dificultades en la prevención y erradicación de la antracnosis en aguacate, situación atribuida en gran medida al uso extensivo e indiscriminado de fungicidas químicos por parte de los productores. Tradicionalmente, el manejo fitosanitario ha dependido de la aplicación repetida de productos sintéticos, como fungicidas sistémicos y de contacto, con el objetivo de controlar el desarrollo de *Colletotrichum* spp. Sin embargo, esta estrategia ha generado diversos problemas colaterales. En primer lugar, la exposición continua a fungicidas específicos ha favorecido la selección de cepas resistentes, debido a mutaciones en genes relacionados con mecanismos de defensa molecular, como modificaciones en los sitios de acción del fungicida o el aumento en la expresión de bombas de expulsión de toxinas (Dobrowolski *et al.*, 2008). En segundo lugar, el uso inadecuado o excesivo de estos compuestos representa un riesgo considerable para la salud humana, ya que pueden dejar residuos en los frutos que superan los límites máximos permitidos. Adicionalmente, la contaminación del suelo y los cuerpos de agua adyacentes compromete gravemente la biodiversidad y el equilibrio ecológico. Ante esta problemática, se ha vuelto imperativo desarrollar estrategias de manejo integrado que incluyan alternativas más sostenibles y seguras, como el uso de biocontroladores, prácticas culturales mejoradas y tratamientos poscosecha ecológicos, que permitan mitigar la enfermedad sin poner en riesgo la salud pública ni el medio ambiente.

Al implementar un manejo más adecuado y efectivo de la antracnosis en aguacate, se propone el uso de estrategias de control biológico como alternativa al control químico convencional. Esta metodología se basa en la utilización de agentes de biocontrol capaces de establecer interacciones antagonistas con el fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides*, inhibiendo su germinación, crecimiento y diseminación (Campos-Martínez *et al.*, 2016; Ávila-Quezada *et al.*, 2002). El tratamiento consiste en la aplicación foliar directa sobre los frutos mediante una formulación que combina la acción sinérgica de la bacteria *Bacillus subtilis* cepa LALBs1 y del hongo filamentoso *Trichoderma harzianum* spp. La aplicación busca la colonización superficial del fruto, generando una barrera biológica activa que protege la

pulpa y detiene la expansión del patógeno mediante diversos mecanismos, como la competencia por nutrientes y espacio, la producción de metabolitos antifúngicos, y la inducción de resistencia sistémica en los tejidos vegetales. De esta manera, se espera lograr un control efectivo de la enfermedad durante el periodo poscosecha, reduciendo las pérdidas económicas y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles (Morales *et al.*, 2025).

Mediante la presente investigación se buscó contribuir al fortalecimiento del sector aguacatero, proporcionando alternativas sostenibles para el control efectivo de la antracnosis, una de las principales enfermedades que afectan la calidad y el valor comercial del fruto. Al intervenir antes de la dispersión del patógeno *Colletotrichum gloeosporioides*, se pretende mejorar significativamente la sanidad del aguacate, obteniendo frutos de mayor calidad, más vida de anaquel y mejor aceptación en los mercados nacionales e internacionales, lo cual se traduce en beneficios económicos directos para los productores. De igual manera, se promueve la actualización de los agricultores en prácticas agrícolas innovadoras y sostenibles basadas en el uso de microorganismos benéficos. Por lo anterior, el objetivo general del presente trabajo fue realizar tres aplicaciones (dos en producción y una en poscosecha) de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* para evaluar el efecto de ambos microorganismos en el control del daño provocado por *Colletotrichum gloeosporioides* (antracnosis), para evitar que se siga propagando en el fruto y conservar las propiedades fisicoquímicas durante la maduración.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros fisicoquímicos en poscosecha de frutos de aguacate Hass sometidos a control biológico contra antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

- 2.2.1. Determinar el efecto de *Bacillus subtilis* LALBs1 y *Trichoderma harzianum* BMH-19 sobre el tamaño y peso de los frutos de aguacate en poscosecha, para evaluar su papel como agentes de control biológico en la reducción del daño asociado a la antracnosis.
- 2.2.2. Analizar los cambios en el pH y el color de la pulpa en frutos tratados con *Bacillus subtilis* LALBs1 y *Trichoderma harzianum* BMH-19, para evaluar su eficacia en la conservación de la calidad interna del fruto en la poscosecha frente al daño causado por la antracnosis.
- 2.2.3. Evaluar el contenido de fenoles y saponinas en frutos tratados con *Bacillus subtilis* LALBs1 y *Trichoderma harzianum* BMH-19, para asociar dichos compuestos con la respuesta fisiológica del fruto y su potencial efecto frente a la antracnosis en la poscosecha.

III. HIPÓTESIS

La aplicación de *Bacillus subtilis* cepa LALBs1 y *Trichoderma Harzianum* BMH 19 en madurez fisiológica y en poscosecha para el control de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) mejora los parámetros fisicoquímicos del fruto de aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México.

IV. JUSTIFICACIÓN

El control biológico de enfermedades del fruto de aguacate es más sustentable que los químicos, ya que reduce la contaminación y promueve la biodiversidad. Además, reduce la resistencia de problemas fitopatológicos, apoyando una agricultura más equilibrada y duradera (Dordas, 2008). Los daños por antracnosis tienen impacto sobre la calidad sensorial, fisicoquímica y económica del aguacate. El hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, acelera el envejecimiento del fruto de aguacate mediante la liberación de enzimas que degradan las paredes celulares, provocando ablandamiento y manchas. También induce la producción excesiva de etileno y estrés oxidativo, lo que daña las células y acelera la senescencia. Estos efectos combinados resultan en una maduración prematura y menor vida útil del fruto. Es por ello importante evitar la infección o realizar un control eficaz de esta (Da Silva y Michereff, 2014) La presente investigación se enfoca en el estudio de un control biológico contra la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en el cultivo de aguacate, utilizando *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*, ambos microorganismos son antagonistas naturales de *Colletotrichum gloeosporioides*, al competir por espacio y nutrientes, inhiben su desarrollo, reduce la incidencia de la enfermedad en los frutos por lo que se observa principalmente los efectos sobre las propiedades fisicoquímicas importantes como, pH, acidez, color de la pulpa, tamaño del fruto, saponinas y fenoles totales (Campos-Martínez *et al.*, 2016). Disminuir el estrés causado por la antracnosis, propicia que los frutos puedan alcanzar su tamaño óptimo, ya que la planta redirige más recursos al crecimiento y desarrollo del fruto. Un fruto menos afectado por antracnosis mantiene una mejor calidad interna, lo que puede reflejarse en un color de pulpa más uniforme y sin manchas. La disminución del daño por el patógeno favorece la preservación de la estructura celular de la pulpa. La respuesta defensiva del aguacate ante patógenos como el *Colletotrichum* puede aumentar la producción de fenoles y saponinas, compuestos con propiedades antifúngicas. Al aplicar *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*, es posible que se mantenga un nivel adecuado de estos compuestos, ya que, aunque se controlan los patógenos, las defensas naturales de la planta siguen activas. Estos compuestos también contribuyen a la calidad nutricional y antioxidante del fruto.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Generalidades del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill) y parámetros fisicoquímicos poscosecha y su importancia en la calidad

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es la tercer fruta más importante y saludable del mundo, fruto que representa un importante y creciente valor económico en los mercados internacionales por el alto nivel nutritivo además de sus usos medicinales e incluso su industrialización gastronómica y cosmética. El aguacate es altamente nutritivo, destacando por su contenido en grasas saludables, principalmente ácidos grasos monoinsaturados como el ácido oleico, que benefician la salud cardiovascular (Dreher y Davenport, 2013). Aporta aproximadamente 160 kcal por cada 100 gramos, junto con 15 g de grasas, 9 g de carbohidratos, 7 g de fibra, y 2 g de proteínas. Es una excelente fuente de vitaminas como K, E, C, B5, B6 y folato, además de minerales como potasio, magnesio y hierro. También contiene antioxidantes, como luteína y zeaxantina, que contribuyen a la salud ocular, y su fibra favorece la digestión (Herrera-González *et al.*, 2017).

La exportación de aguacate se ha consolidado como una de las actividades agroindustriales más relevantes de México, posicionando al fruto como un pilar de la economía nacional y un referente internacional en términos de producción y comercio agrícola. En 2024, las exportaciones alcanzaron un valor histórico de 3,787 millones de dólares, lo que representó un incremento cercano al 20% con respecto al año anterior. Este crecimiento se debió, principalmente, al fortalecimiento de la demanda internacional y a la capacidad del país para mantener una oferta constante hacia los mercados más exigentes, en especial Estados Unidos, Canadá y Japón. Sin embargo, a pesar del aumento en el valor exportado, el volumen de ventas al extranjero disminuyó alrededor de un 9 % en comparación con 2023, alcanzando 1.28 millones de toneladas métricas. Esta reducción en cantidad se ha vinculado a factores relacionados con la variabilidad de la producción y los costos logísticos elevados, aunque los precios internacionales permitieron compensar dichas limitaciones en términos de ingresos.

Michoacán y Jalisco se mantuvieron como las entidades líderes en la exportación de aguacate en 2024. Michoacán concentró más del 90 % del valor exportado, con 3 525 millones de dólares, mientras que Jalisco alcanzó 333 millones de dólares, confirmando la creciente importancia de este estado tras su incorporación oficial como exportador autorizado hacia el mercado estadounidense (Contreras *et al.*, 2010). Los principales destinos de exportación fueron Estados Unidos, con un valor de 3 444 millones de dólares, seguido de Canadá con 257 millones, Japón con 108 millones y, en menor medida, países de Centroamérica como El Salvador y Honduras. Este patrón reafirma la dependencia estructural de México hacia el mercado estadounidense, el cual absorbe más del 80 % de las exportaciones totales, especialmente en los meses de diciembre a febrero, cuando la demanda se intensifica debido a eventos de alto consumo como el Super Bowl (Morales *et al.*, 2025).

El Estado de México generaba alrededor de 97 806 toneladas en 2018, lo que representaba aproximadamente el 4.5 % de la producción nacional. Para 2024, informes del SIAP y de la Secretaría del Campo de la entidad señalaron un incremento del 35 % en el cultivo de aguacate respecto a años previos, entre los que destacan el municipio de Coatepec Harinas, Temascaltepec y Donato Guerra, lo cual sugiere que la producción alcanzó un estimado de 132 000 toneladas. Este aumento confirma una tendencia positiva impulsada por factores como la ampliación de áreas de cultivo en municipios de tradición aguacatera, mejores prácticas de manejo poscosecha y una creciente articulación con los mercados internacionales. Dicho dinamismo coloca al Estado de México como el tercer productor nacional, reforzando su importancia estratégica en la cadena de valor del aguacate.

Para 2025, se estima que las exportaciones podrían alcanzar los 4 000 millones de dólares, lo que significaría un crecimiento de 5.6 % respecto a 2024. Asimismo, el volumen exportado podría recuperarse hasta 1.34 millones de toneladas métricas, lo que representaría un incremento del 5 %. Estas cifras se sostienen en una producción nacional proyectada en 2.75 millones de toneladas métricas, superando en un 3 % a la estimada en 2024 (2.67 millones) (Morales *et al.*, 2025).

El mercado estadounidense continuará como principal destino, absorbiendo aproximadamente el 80 % del volumen, mientras que Canadá y Japón se mantendrán como compradores estratégicos, con participaciones del 7 % y 3 %, respectivamente. En contraste,

las importaciones hacia México seguirán siendo mínimas, estimadas en apenas 3 800 toneladas métricas, provenientes sobre todo de Perú y Colombia, con el objetivo de cubrir déficits temporales en la oferta nacional (García *et al.*, 2024).

La importancia del aguacate en el comercio internacional mexicano trasciende lo meramente económico. En 2024 se consolidó como la tercera exportación agroalimentaria más relevante del país, solo detrás de la cerveza y el tequila, superando en valor a productos como las berries y los tomates. Este posicionamiento refleja no solo la capacidad productiva, sino también el papel central que ocupa en la dieta y cultura de los consumidores internacionales. De hecho, alrededor del 88 % de las importaciones totales de aguacate de Estados Unidos fueron abastecidas por México en 2024, confirmando la hegemonía del país en este rubro (Rodríguez *et al.*, 2025).

El aguacate Hass es una de las variedades más conocidas y cultivadas a nivel mundial debido a sus características de calidad y sabor que lo distinguen de otras razas de aguacate. Esta variedad o mutación genética tiene su origen a partir de una semilla de un aguacate de raza guatemalteca, siendo desarrollada alrededor del año 1926 en un huerto ubicado en California, Estados Unidos, y posteriormente también en México alrededor de 1935, donde se dieron las condiciones favorables para su propagación. Fue en 1935 cuando esta variedad fue patentada oficialmente, y gracias a sus excelentes propiedades organolépticas y agronómicas, logró introducirse exitosamente en el mercado global en la década de 1960, consolidándose con el tiempo como la variedad más cultivada y comercializada en todo el mundo, posición que mantiene hasta la actualidad (Illsley-Granich *et al.*, 2011).

En cuanto a sus características físicas, el aguacate Hass presenta frutos cuyo peso promedio ronda los 300 gramos, con dimensiones que alcanzan aproximadamente los 18 centímetros de largo. Su forma es generalmente periférica o ligeramente ovalada, lo que facilita su manipulación y empaque. Una característica notable de esta variedad es la coloración de su piel: al momento de la cosecha presenta un color verde oscuro, pero conforme avanza el proceso de maduración, la cáscara se torna de un tono muy oscuro, casi violáceo, lo cual también sirve como un indicador visual del grado de madurez del fruto (Cerdas *et al.*, 2006).

La pulpa del aguacate Hass es otro de sus atributos más destacados, ya que es rica en ácidos grasos esenciales, con un contenido lipídico que supera el 20%, lo cual lo convierte en una

excelente fuente de grasas saludables (Dreher y Davenport, 2013). Además, su textura cremosa y la ausencia de fibras resistentes en la pulpa lo diferencian de otras variedades menos apreciadas. La variedad Hass también es valorada por su alto contenido de fibra dietética y por su aporte significativo de vitaminas del complejo B y vitamina E, así como por contener cerca de un 70% de agua y un 12% de aceites vegetales, lo que le otorga una composición nutricional muy completa (Illsley-Granich *et al.*, 2011).

Entre las principales ventajas que han impulsado su popularidad se encuentra su prolongado periodo de cosecha, permitiendo así una disponibilidad casi continua en los mercados internacionales, además de su sabor característico y su notable calidad sensorial. Su semilla, es relativamente pequeña en comparación con otras variedades, favoreciendo una mayor proporción de pulpa comestible (Cerdas *et al.*, 2006).

5.1.1. pH

El aguacate (*Persea americana* Mill.), fruto climatérico de gran importancia comercial a nivel mundial, presenta características fisicoquímicas que determinan en gran medida su calidad durante el almacenamiento, transporte y comercialización. Entre estos parámetros, el pH de la pulpa se ha identificado como un factor relevante, tanto por su relación con la estabilidad bioquímica del fruto como por su influencia en la susceptibilidad a procesos de deterioro físico, enzimático y microbiológico. El pH de la pulpa de aguacate suele ubicarse dentro de un rango cercano a la neutralidad, generalmente entre 6.0 y 7.0, lo cual responde al equilibrio natural entre los compuestos ácidos y básicos presentes en la matriz celular del fruto. No obstante, la presencia de enfermedades como la antracnosis, causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, puede alterar este equilibrio. Durante la infección, tanto en campo como en la poscosecha, el hongo induce la degradación de tejidos y la liberación de compuestos orgánicos ácidos, lo que puede generar una disminución del pH en las zonas afectadas, favoreciendo procesos de descomposición acelerada y afectando negativamente la calidad de la pulpa (Salameh *et al.*, 2022)

El valor de pH en el aguacate tiene implicaciones directas sobre procesos como el pardeamiento enzimático, la actividad microbiana y la velocidad de respiración poscosecha. Un pH cercano a la neutralidad, como el que caracteriza a este fruto, favorece la actividad de

enzimas como la polifenoloxidasas, responsables del oscurecimiento de la pulpa tras el daño mecánico o la exposición al oxígeno. Asimismo, este pH representa un entorno potencialmente favorable para el desarrollo de microorganismos deteriorantes, por lo que el control de este parámetro, en conjunto con otros factores, se vuelve fundamental para prolongar la vida útil del producto (García-Martínez *et al.*, 2021).

Durante el almacenamiento, el pH de la pulpa puede mantenerse relativamente constante, aunque puede verse alterado por las condiciones de conservación, como la temperatura, la humedad relativa y la composición gaseosa del ambiente. El uso de tecnologías poscosecha como las atmósferas modificadas y controladas ha demostrado ser una estrategia eficaz para preservar la integridad fisicoquímica del aguacate, incluyendo el mantenimiento del pH dentro de un rango estable. Combinaciones específicas de dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno han permitido disminuir la tasa respiratoria, retardar los procesos de maduración y mantener la calidad sensorial del fruto por periodos prolongados, en algunos casos superiores a 60 días. En estas condiciones, el pH se mantiene como un parámetro indicador de estabilidad bioquímica y de mínima alteración del metabolismo interno del fruto (Cuéllar-Torres *et al.*, 2022).

Por otra parte, la nutrición del árbol de aguacate durante el cultivo, particularmente la disponibilidad de calcio también ha mostrado tener un efecto sobre las características de la pulpa en poscosecha (López y Cajuste, 1996). El calcio, al integrarse en las paredes celulares, contribuye a mantener la firmeza del tejido y reduce la permeabilidad celular, lo que a su vez modula la liberación de iones y la estabilidad del pH. Frutos con niveles adecuados de calcio en la pulpa tienden a presentar menor incidencia de pardeamiento, mejor textura y mayor resistencia a la degradación durante el almacenamiento (Barrientos-Priego *et al.*, 2016; Salameh *et al.*, 2022).

Es importante destacar que, aunque el pH por sí solo no determina completamente la calidad del aguacate, su monitoreo representa una herramienta valiosa dentro de los esquemas de control poscosecha. Junto con otros parámetros como la firmeza, la materia seca, el contenido de aceite, la acidez titulable y el color de la pulpa, el pH permite caracterizar el estado fisiológico y sanitario del fruto, facilitando la toma de decisiones para su comercialización nacional e internacional (Carvalho *et al.*, 2015). En este sentido, el pH puede entenderse

como un indicador indirecto del equilibrio metabólico del fruto, cuya estabilidad puede ser optimizada mediante un manejo poscosecha integral (García-Martínez *et al.*, 2021; Cuéllar-Torres *et al.*, 2022).

5.1.2. Color

El color de la pulpa del aguacate es uno de los atributos más relevantes en la evaluación de la calidad poscosecha, ya que constituye un indicador directo del estado de madurez y frescura del fruto. A diferencia del color de la cáscara, que en variedades de piel verde no refleja con precisión el grado de maduración, la coloración interna ofrece una medida más confiable de las condiciones fisiológicas del aguacate y de su aceptación en el mercado. Este atributo sensorial, junto con la textura y el aroma, determina en gran medida la preferencia del consumidor y, por tanto, la competitividad comercial del producto (Álvarez-Bravo y Salazar-García, 2017; Benítez *et al.*, 2021).

Durante la maduración, la pulpa experimenta un cambio progresivo en sus tonalidades, pasando del verde amarillento inicial al amarillo característico de los frutos listos para el consumo. Este fenómeno está asociado a la degradación de clorofilas y al incremento de carotenoides y otros compuestos que influyen en la apariencia, el valor nutricional y el sabor. No obstante, este equilibrio puede alterarse por la presencia de antracnosis, enfermedad que provoca necrosis en los tejidos internos y genera manchas oscuras o zonas pardeadas en la pulpa, lo que afecta de manera significativa la uniformidad del color y disminuye la calidad visual y comercial del aguacate (Rosas-Flores *et al.*, 2020).

La evaluación del color de la pulpa se ha incorporado de manera rutinaria en los estudios de calidad poscosecha mediante herramientas objetivas como colorímetros y espectrofotómetros, que permiten medir parámetros de luminosidad, tono e intensidad. Estos análisis no solo facilitan el monitoreo del proceso de maduración bajo diferentes condiciones de almacenamiento, sino que también permiten identificar alteraciones causadas por desórdenes fisiológicos, daños por frío o infecciones fúngicas. En este sentido, la estabilidad del color interno constituye un criterio fundamental tanto para los programas de clasificación y exportación como para el diseño de estrategias de conservación que mantengan la

apariencia, el valor nutricional y la aceptación del fruto en los mercados más exigentes (Kassim *et al.*, 2013).

5.1.3. Tamaño de frutos

El tamaño del fruto de aguacate constituye uno de los atributos más relevantes en la determinación de su calidad comercial y en el comportamiento poscosecha. Este parámetro físico, junto con el peso y la forma, define la aceptación del producto en los mercados internacionales, en donde se busca uniformidad, facilidad de empaque y presentación atractiva para el consumidor. Los frutos que alcanzan un tamaño óptimo no solo tienen mejor valor comercial, sino que también presentan ventajas en la logística de distribución y almacenamiento, ya que su homogeneidad facilita la clasificación, reduce costos de empaque y genera una percepción positiva en los canales de comercialización (Kinal *et al.*, 2024).

El tamaño del aguacate también es un indicador relacionado con la madurez fisiológica en el momento de la cosecha. Determinar el punto adecuado de corte es fundamental para asegurar que la fruta complete su proceso de maduración de manera uniforme durante la poscosecha. Un fruto demasiado pequeño puede indicar inmadurez y, por lo tanto, dar lugar a problemas en el ablandamiento o desarrollo del sabor. Por otro lado, un fruto demasiado grande, aunque atractivo visualmente, puede ser más susceptible a daños mecánicos y a una mayor pérdida de firmeza, lo que compromete la vida útil. La relación entre tamaño y contenido de materia seca es clave para garantizar que la fruta alcance una calidad de consumo adecuada después de su almacenamiento y transporte (Carvalho *et al.*, 2015; Kinal *et al.*, 2024).

El tamaño del fruto influye en la pérdida de peso y en la susceptibilidad a trastornos fisiológicos. Los aguacates más grandes, al presentar una superficie más expuesta y un mayor peso relativo, tienden a perder agua con mayor rapidez, lo que se traduce en reducción de turgencia y apariencia marchita. Esto puede afectar directamente la aceptación del consumidor y la competitividad en el mercado. Además, un tamaño excesivo incrementa el riesgo de magulladuras y daños durante la manipulación, el transporte y el empaque, lo cual se refleja en una disminución significativa de la calidad comercial (Aguilar *et al.*, 2023).

El tamaño del fruto está fuertemente condicionado por factores de manejo en campo, como la nutrición mineral, la disponibilidad hídrica, la poda y el equilibrio de la carga frutal del árbol. Un adecuado suministro de nutrientes, especialmente nitrógeno, potasio y calcio, favorece el desarrollo de frutos de tamaño uniforme, mientras que deficiencias o excesos pueden conducir a frutos pequeños o deformes (Barrientos-Priego *et al.*, 2016). De igual manera, el riego insuficiente o los periodos de sequía pueden limitar el crecimiento del fruto, afectando de manera directa la calidad final. El manejo del dosel y la poda regulan la distribución de luz y fotosintatos, factores determinantes para el desarrollo de frutos de tamaño adecuado y con mejores características poscosecha (Cerdas *et al.*, 2006).

En los últimos años, las investigaciones han puesto énfasis en la relación entre el tamaño del fruto y las estrategias de conservación poscosecha. Se ha demostrado que mantener una homogeneidad en el calibre de los aguacates permite aplicar técnicas de almacenamiento y maduración más precisas, como el uso de atmósferas controladas, recubrimientos comestibles y empaques activos, lo que prolonga la vida útil sin comprometer la calidad sensorial. Asimismo, se reconoce que el tamaño es un factor que facilita la estandarización de índices de madurez y parámetros de calidad, necesarios para el desarrollo de modelos predictivos de comportamiento poscosecha y para mejorar la trazabilidad dentro de la cadena productiva (Durán-Peralta *et al.*, 2017; Kassim *et al.*, 2013).

5.1.4. Fenoles

Los compuestos fenólicos presentes en el aguacate constituyen uno de los grupos de metabolitos secundarios de mayor relevancia en la determinación de su calidad nutracéutica y en los procesos fisiológicos que ocurren durante la maduración y la poscosecha. Estos compuestos, entre los que destacan ácidos como el clorogénico, cafeico y ferúlico, así como flavonoides como catequina y quercetina, se encuentran distribuidos principalmente en la piel, semilla y, en menor proporción, en la pulpa. Su variabilidad depende de factores genéticos, estado de madurez, condiciones de cultivo y manejo poscosecha. Se ha documentado que la piel concentra los niveles más altos de fenoles, lo que le confiere una función protectora frente a la oxidación y el ataque de patógenos, mientras que la pulpa,

aunque con menor contenido, conserva un papel fundamental en la calidad nutracéutica y sensorial del fruto (Zapata-Luna *et al.*, 2024).

Durante el proceso de maduración, el contenido total de fenoles tiende a disminuir de manera progresiva. Este comportamiento responde a la participación de dichos compuestos en procesos de defensa metabólica y en la neutralización de especies reactivas de oxígeno que se acumulan conforme avanza la senescencia del fruto. Así, la reducción de fenoles se asocia con una menor capacidad antioxidante del aguacate en estados avanzados de maduración, lo que repercute en la pérdida de firmeza, incremento en la susceptibilidad a desórdenes fisiológicos y reducción de la vida útil. La dinámica de estos metabolitos es, por tanto, un indicador clave para evaluar la calidad poscosecha (Ruiz-Aracil *et al.*, 2024).

En el ámbito de la conservación, la acumulación y mantenimiento de fenoles han mostrado un efecto positivo en la prolongación de la vida de anaquel del aguacate. Diversos estudios evidencian que estrategias como la aplicación de elicitors biológicos, compuestos fenólicos exógenos o reguladores de crecimiento inducen un aumento en la síntesis de estos metabolitos. Dicho incremento no solo fortalece la actividad antioxidante endógena, sino que también se traduce en una mayor resistencia a la acción de patógenos causantes de enfermedades poscosecha, como la antracnosis y la pudrición del pedúnculo. De esta manera, la manipulación del metabolismo fenólico se perfila como una estrategia prometedora para mejorar la calidad y reducir pérdidas durante la comercialización (Ilea *et al.*, 2021).

Un aspecto de creciente interés es el aprovechamiento de subproductos y frutos descartados de aguacate como fuente natural de fenoles. Investigaciones recientes han demostrado que incluso aquellos frutos rechazados por no cumplir con estándares comerciales mantienen un alto contenido fenólico, con compuestos como ácido clorogénico, epicatequina y quercetina en concentraciones significativas. Estos compuestos confieren una elevada capacidad antioxidante, lo que abre posibilidades de utilización en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, contribuyendo al aprovechamiento integral del cultivo y a la reducción del desperdicio poscosecha (Rosas-Flores *et al.*, 2020).

El papel de los fenoles no se limita a la conservación de la calidad nutracéutica, sino que también influye en atributos sensoriales como el color y el sabor. Su interacción con enzimas oxidativas determina, por ejemplo, la aparición de pardeamientos en la pulpa, fenómeno que

afecta la aceptación del consumidor y que representa un reto en la comercialización internacional del aguacate. De este modo, mantener un equilibrio adecuado entre la síntesis y degradación de fenoles resulta esencial para preservar tanto la calidad funcional como la sensorial del fruto (Osondu *et al.*, 2025).

5.1.5. Saponinas

Las saponinas son metabolitos secundarios de naturaleza glicoalcaloide que se encuentran ampliamente distribuidos en diversas especies vegetales, incluido el aguacate (*Persea americana*). Estas moléculas se caracterizan por su estructura anfipática, con una parte lipofílica (aglicona) y una parte hidrofílica (cadena de azúcares), lo que les confiere propiedades tensoactivas y una notable actividad biológica. En el aguacate, se han identificado saponinas principalmente en la semilla y en menor medida en la cáscara, considerándose compuestos de interés tanto por sus efectos nutracéuticos como por sus potenciales aplicaciones en la conservación poscosecha. Estudios recientes confirman que los residuos agroindustriales de este fruto, como piel y semilla, concentran una fracción significativa de saponinas, lo que les otorga propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas (Kolawole *et al.*, 2025)

Las saponinas adquieren relevancia por su capacidad de actuar como agentes de defensa natural frente a patógenos y por su posible contribución a retrasar procesos de deterioro. Se ha documentado que estos compuestos poseen efectos antimicrobianos sobre bacterias y hongos, atribuidos a su capacidad de interactuar con lípidos de las membranas celulares y alterar su permeabilidad. Este mecanismo puede reducir la incidencia de enfermedades en el fruto, prolongando la vida útil durante el almacenamiento y la comercialización. Asimismo, las saponinas podrían contribuir indirectamente a mantener la firmeza y el color del fruto, al disminuir la acción de microorganismos que aceleran procesos de ablandamiento y pardeamiento (Moreno *et al.*, 2019).

Diversos estudios han explorado su incorporación en formulaciones para reducir pérdidas poscosecha, mostrando que la aplicación de extractos de semilla, ricos en saponinas, puede mejorar parámetros de calidad al disminuir la pérdida de peso y retrasar el deterioro visible.

Estos avances resaltan el potencial de este grupo de metabolitos no solo en el ámbito nutracéutico, sino también como componentes de tecnologías sostenibles orientadas a disminuir el uso de fungicidas sintéticos en la cadena de valor del aguacate (Bautista-Baños., *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2019).

El contenido y la funcionalidad de las saponinas no son estáticos y pueden verse modificados por factores internos y externos. Entre los factores de estrés biótico que impactan de manera significativa, se encuentra la antracnosis, enfermedad causada por hongos del género *Colletotrichum*. Esta patología representa uno de los principales problemas fitosanitarios en aguacate, tanto en campo como en poscosecha, ya que provoca lesiones necróticas en la piel, invasión del tejido parenquimático y pérdida acelerada de la calidad. Durante la infección, el metabolismo secundario del fruto, incluyendo la síntesis y acumulación de saponinas, puede alterarse de manera importante (Nascimento *et al.*, 2025).

La interacción entre el hongo y el tejido vegetal implica una confrontación bioquímica donde las saponinas podrían desempeñar un papel dual. Por un lado, se ha sugerido que forman parte de las defensas naturales del fruto, limitando la proliferación del patógeno mediante su acción antifúngica. No obstante, el ataque de *Colletotrichum* induce la producción de enzimas fúngicas como glicosidasas y saponinasas, capaces de degradar o inactivar estos compuestos. Como consecuencia, la eficacia de las saponinas en la defensa del fruto puede verse reducida, lo que favorece el avance de la enfermedad y compromete la integridad del tejido (Herrera-Gonzales *et al.*, 2020).

La disminución de saponinas durante la infección no solo repercute en la resistencia frente al patógeno, sino también en la calidad poscosecha del aguacate. Su degradación o reducción limita el aporte antioxidante y la capacidad de preservar la estructura celular, acelerando la pérdida de firmeza, el pardeamiento interno y la aparición de pudriciones. De esta forma, la antracnosis no solo deteriora visualmente el fruto, sino que también afecta de manera indirecta la funcionalidad de metabolitos clave como las saponinas, con impacto negativo en la vida de anaquel y en el valor comercial del producto (Kolawole *et al.*, 2025).

La investigación actual plantea que comprender la dinámica de las saponinas durante la infección fúngica puede abrir nuevas oportunidades de manejo poscosecha. Estrategias como la aplicación exógena de extractos ricos en saponinas, la selección de genotipos con mayor

capacidad de síntesis de estos compuestos o el uso combinado con otros elicitores naturales podrían constituir alternativas eficaces para reducir las pérdidas ocasionadas por la antracnosis y mejorar la calidad del fruto (Bautista-Baños., *et al.*, 2003). A futuro, el estudio detallado de la relación entre saponinas y enfermedades poscosecha permitirá desarrollar tecnologías más sostenibles y adaptadas a las demandas de conservación y seguridad alimentaria (Rumipamba *et al.*, 2021).

5.2. Antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*) y su impacto en los parámetros fisicoquímicos

5.2.1. Agente causal de la antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*)

Colletotrichum gloesporioides se reconoce como el principal agente causal de la antracnosis en aguacate a nivel global, investigaciones recientes han demostrado que el panorama taxonómico de este patógeno es más complejo de lo que se pensaba inicialmente. *C. gloesporioides* se caracteriza por su elevada plasticidad genética y su capacidad para adaptarse a diversos hospederos y condiciones ambientales, lo que explica su amplia distribución geográfica en zonas productoras de aguacate en América, África, Asia y Oceanía. Presenta un ciclo de vida que incluye fases asexuales con abundante producción de conidios hialinos y fusiformes, así como la formación de apesorios melanizados que les confieren resistencia frente a condiciones adversas y le facilitan la penetración directa en los tejidos vegetales. Una de sus características epidemiológicas más relevantes es la capacidad de generar infecciones latentes en frutos inmaduros, permaneciendo en estado quiescente hasta que las condiciones de maduración, cambios en el pH o alteraciones en la integridad celular favorecen la expresión de los síntomas. Esta estrategia de infección silenciosa complica las labores de detección temprana y hace que la enfermedad se manifieste, en muchos casos, durante el transporte o almacenamiento, incrementando las pérdidas económicas (Weir *et al.*, 2012).

En distintas regiones productoras se ha documentado la presencia de otras especies con capacidad patogénica sobre el fruto, lo que amplía la diversidad de agentes implicados y plantea nuevos retos para el diagnóstico y control. Entre ellas, destacan *Colletotrichum acutatum*, asociada a infecciones en diversas zonas productoras; *Colletotrichum perseae*, identificada en Turquía como un patógeno emergente de relevancia local; y *Colletotrichum anthrisci*, reportada en Chile como un agente causal menos frecuente, pero con potencial impacto económico (Bozoglu *et al.*, 2024).

La coexistencia de varias especies patógenas en una misma región, e incluso en un mismo huerto, complica la implementación de medidas de manejo, ya que cada especie puede diferir en su rango de hospedantes, velocidad de colonización, condiciones óptimas para su desarrollo y tolerancia a fungicidas (Damm *et al.*, 2012). En el caso particular de *C. gloeosporioides*, su versatilidad fisiológica y su alta capacidad de dispersión a través de salpicaduras de agua, viento e incluso material de cosecha contaminado, le confieren una ventaja competitiva frente a otros patógenos. Este mosaico de patógenos implica que las estrategias de control deben considerar no solo la supresión de *C. gloeosporioides*, sino también la posible presencia y prevalencia de otras especies, lo cual requiere un diagnóstico preciso basado en herramientas moleculares y morfológicas (Armand y Jayawardena, 2023).

El reconocimiento de esta diversidad taxonómica no es únicamente un interés académico, sino que tiene implicaciones prácticas directas en la producción y comercialización del aguacate. Una correcta identificación del agente causal permite seleccionar el fungicida más efectivo, ajustar el momento y la frecuencia de aplicación, y evaluar la necesidad de medidas complementarias como la inducción de resistencia en la planta o el uso de coberturas protectoras. Además, comprender la distribución geográfica de cada especie, y en especial la adaptabilidad de *C. gloeosporioides*, contribuye a la vigilancia fitosanitaria y a la implementación de programas de cuarentena más eficientes, minimizando el riesgo de introducción de especies exóticas a nuevas áreas productoras (Weir *et al.*, 2012; Bozoglu *et al.*, 2024).

Finalmente, la diversidad de especies de *Colletotrichum* asociadas a la antracnosis del aguacate representa un desafío adicional para el comercio internacional. Los mercados de exportación con regulaciones fitosanitarias estrictas pueden establecer restricciones

específicas para determinadas especies, lo que convierte a la identificación taxonómica en un paso crítico para garantizar la aceptación del producto en el destino final. De esta forma, el estudio de los agentes causales, con especial énfasis en *C. gloeosporioides* por su papel predominante y su compleja biología, no solo aporta información para la comprensión de la epidemiología de la enfermedad, sino que también se traduce en una herramienta clave para la sostenibilidad económica del sector aguacatero (Damm *et al.*, 2012; Armand y Jayawardena, 2023).

5.2.2. Ciclo biológico de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*)

Colletotrichum gloeosporioides presenta un ciclo de vida hemibiotrófico, caracterizado por dos etapas bien diferenciadas. En la primera etapa, denominada fase biotrófica, el hongo establece una relación íntima con el tejido vivo del hospedero, evitando causar daños inmediatos que puedan activar respuestas defensivas intensas. Durante esta fase, se forman estructuras especializadas como apresorios y vesículas de infección, que actúan como puentes de transferencia de nutrientes desde las células vivas del fruto hacia el hongo. El apresorio, con su pared celular melanizada, no solo genera presión mecánica para penetrar la cutícula y la pared celular del hospedero, sino que también secreta enzimas hidrolíticas en concentraciones controladas, de manera que la integridad de las células invadidas se mantenga el tiempo suficiente para permitir una extracción sostenida de nutrientes (Prusky *et al.*, 2001).

Tras esta fase inicial, y en respuesta a cambios en las condiciones fisiológicas del hospedero o a factores ambientales, el patógeno realiza una transición hacia una fase necrotrófica. En esta etapa, las hifas invasoras proliferan de forma agresiva y secretan un conjunto de enzimas y toxinas que degradan las paredes celulares y provocan la muerte del tejido circundante. Esto genera las lesiones visibles típicas de la antracnosis, que se manifiestan como manchas hundidas y decoloraciones que pueden expandirse rápidamente en condiciones de alta humedad y temperatura (Ávila-Quezada *et al.*, 2002; Armand y Jayawardena, 2023).

Una de las estrategias más efectivas de *C. gloeosporioides* para evadir el control es su capacidad de mantener infecciones en estado latente o quiescente. Este fenómeno ocurre frecuentemente en frutos en desarrollo, donde el patógeno permanece en un estado inactivo, limitado a unas pocas células superficiales, sin provocar síntomas visibles. Esta latencia se prolonga durante gran parte del crecimiento y maduración del fruto, y suele romperse durante la etapa de poscosecha, especialmente cuando la fruta experimenta cambios en el pH, acumulación de etileno o degradación de compuestos antifúngicos naturales. El resultado es la aparición de síntomas durante el transporte, almacenamiento o incluso en el punto de venta, cuando ya es demasiado tarde para aplicar medidas de control efectivas.

Esta capacidad de alternar entre fases metabólicamente activas y estados de reposo, junto con la habilidad de sincronizar la manifestación de la enfermedad con momentos críticos de la cadena de suministro, convierte a *C. gloeosporioides* en un patógeno altamente eficiente y difícil de erradicar. Desde una perspectiva epidemiológica, este comportamiento hemibiotrófico y latente obliga a desarrollar estrategias integradas de manejo que incluyan no solo la protección en campo, sino también medidas poscosecha que retrasen o inhiban la activación de la fase necrotrófica, como el uso de atmósferas controladas, tratamientos térmicos o aplicaciones de agentes de control biológico en las etapas previas al almacenamiento (Prusky *et al.*, 2013; Armand y Jayawardena, 2023).

5.2.3. Importancia económica de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*).

La antracnosis representa uno de los problemas fitosanitarios más relevantes y persistentes que enfrenta la producción de aguacate a nivel mundial, tanto en cultivos destinados al consumo interno como en aquellos orientados a la exportación (Pliego-Alfaro *et al.*, 2013). Esta enfermedad, provocada principalmente por especies del género *Colletotrichum*, afecta de manera directa la calidad visual del fruto, su vida útil y, en consecuencia, su valor comercial. En condiciones adversas de manejo, almacenamiento o transporte, las pérdidas poscosecha pueden llegar a niveles críticos, alcanzando hasta el 50 % de la producción, lo

que implica un impacto económico considerable para los productores, empaques y exportadores (Pliego-Alfaro *et al.*, 2013).

Su importancia radica no solo en la reducción cuantitativa del rendimiento, sino también en el detrimento cualitativo del producto. Los consumidores y compradores internacionales, especialmente en mercados de alto valor, son sumamente exigentes en cuanto a la apariencia del fruto, priorizando características como la ausencia de manchas, el color uniforme de la piel y la integridad de la superficie (Álvarez-Bravo y Salazar-García, 2017). La antracnosis provoca lesiones visibles que afectan de manera directa estos criterios de calidad, generando rechazo del producto, disminución de precios y, en casos extremos, la pérdida total de lotes destinados a la exportación (Gallardo-Camarena *et al.*, 2025).

El impacto económico no se limita al momento de la cosecha o la poscosecha inmediata, sino que también se extiende a lo largo de toda la cadena de suministro. Las infecciones latentes constituyen uno de los mayores desafíos: los frutos aparentemente sanos al momento de la recolección pueden desarrollar síntomas durante el transporte, almacenamiento o incluso en el punto de venta, ocasionando devoluciones, reclamaciones comerciales y deterioro de la imagen del proveedor (Pliego-Alfaro *et al.*, 2013). Esto es especialmente problemático en mercados internacionales donde los tiempos de traslado son prolongados y la temperatura, humedad y condiciones de empaque pueden favorecer la expresión de la enfermedad (Ávila-Quezada *et al.*, 2002).

Un aspecto crítico adicional es el efecto de la antracnosis sobre parámetros fisicoquímicos de la pulpa del aguacate, como el pH, el color y la textura. La progresión de la infección puede inducir cambios en la acidez del fruto, alterando el pH y, con ello, modificando su sabor y reduciendo su aceptación sensorial en los consumidores más exigentes. De igual manera, la degradación de los pigmentos y la oxidación de compuestos fenólicos provocadas por la acción enzimática del patógeno conducen a una pérdida de la coloración verde característica y al oscurecimiento de la pulpa, lo que es percibido como deterioro y reduce el valor comercial inmediato. Estos cambios fisicoquímicos, aun en etapas iniciales de la infección, pueden ser determinantes para que un lote sea rechazado en controles de calidad o que reciba una clasificación inferior, con la consecuente disminución del precio de venta (Gallardo-Camarena *et al.*, 2025).

Además, la antracnosis incrementa los costos de producción debido a la necesidad de implementar estrategias de manejo integrado que incluyen la aplicación de fungicidas, la adopción de tecnologías poscosecha para prolongar la vida útil del fruto, y la capacitación constante del personal en labores de cosecha y manipulación para reducir daños mecánicos que faciliten la infección (Gallardo-Camarena *et al.*, 2025). Estos costos adicionales, sumados a las pérdidas directas e indirectas, reducen significativamente la rentabilidad del cultivo y afectan la competitividad del aguacate en los mercados globales.

En el contexto de países exportadores, la presencia de esta enfermedad adquiere una dimensión estratégica, ya que las normas fitosanitarias internacionales y los protocolos de importación son cada vez más estrictos. Un aumento en la incidencia de antracnosis puede derivar en restricciones comerciales, pérdida de mercados consolidados y limitaciones para el acceso a nuevos destinos (Gallardo-Camarena; Pliego-Alfaro *et al.*, 2013). Por ello, comprender su importancia económica no solo implica cuantificar pérdidas, sino también valorar los efectos a largo plazo sobre la estabilidad y sostenibilidad del sector aguacatero.

5.2.4. Problemática fitosanitaria del aguacate (*Persea americana* Mill) por antracnosis

El cultivo y la comercialización del aguacate, especialmente en la dinámica de exportación entre México y Estados Unidos, están sometidos a un estricto conjunto de regulaciones y normativas que tienen como objetivo principal garantizar que el producto cumpla con altos estándares de calidad, inocuidad y sostenibilidad. Estas regulaciones no solo abarcan aspectos generales de la producción, sino que también establecen lineamientos muy específicos que deben cumplirse desde la etapa de cultivo hasta la llegada del producto final al consumidor. Dentro de estos requisitos, uno de los temas de mayor importancia es el manejo fitosanitario en el campo, ya que diversas enfermedades como la antracnosis representan un riesgo significativo para la calidad del fruto y, en consecuencia, para su aceptación en los mercados nacionales e internacionales (Morales *et al.*, 2025)

En este sentido, el control adecuado de las enfermedades fitosanitarias se vuelve indispensable para garantizar la aceptación de los frutos en los mercados de exportación más exigentes, como el estadounidense y el japonés. La presencia de patógenos visibles en los

frutos, tales como manchas de antracnosis, pudriciones u otros síntomas de deterioro, puede ocasionar el rechazo total de cargamentos durante las inspecciones fitosanitarias que se realizan en las fronteras o puntos de entrada de los países importadores. Esta situación genera un impacto económico significativo, ya que además de la pérdida directa de la fruta afectada, también se incrementan los costos de operación, almacenamiento y logística, aquejando gravemente la rentabilidad de los productores y exportadores de aguacate (Bernal-Estrada *et al.*, 2020).

Por esta razón, las autoridades tanto nacionales como internacionales han establecido protocolos estrictos que obligan a los huertos de producción de aguacate a implementar sistemas de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE). Dichos sistemas consideran acciones como la aplicación controlada y racional de fungicidas, con el fin de evitar residuos por encima de los límites máximos permisibles. El uso de agentes biocontroladores como alternativa sustentable para el manejo de patógenos; así como la adopción de buenas prácticas agrícolas (BPA) que incluyen la capacitación de los trabajadores, la correcta limpieza y desinfección de herramientas, y el monitoreo constante de la sanidad del cultivo (Chandler *et al.*, 2008). Además, resulta fundamental que los huertos logren la certificación como unidades libres de plagas de importancia cuarentenaria, siguiendo los lineamientos de organismos como el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) en México y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA-APHIS) para la exportación.

Asimismo, no basta con atender únicamente los aspectos sanitarios en campo, ya que los estándares de calidad exigidos también incluyen parámetros físicos del fruto, como el tamaño, el peso, la firmeza, la coloración homogénea, y la ausencia de daños mecánicos o biológicos. Todos estos factores son evaluados minuciosamente en los centros de empaque y exportación antes de permitir su ingreso a los mercados internacionales. De este modo, el cumplimiento de las normas fitosanitarias y de calidad no solo protege la salud pública y la biodiversidad en los países importadores, sino que también fortalece la imagen y competitividad del aguacate mexicano en el ámbito global (Bernal-Estrada *et al.*, 2020).

Derivado de la importancia que tiene el cumplimiento de las regulaciones fitosanitarias y de calidad en la producción de aguacate, resulta fundamental comprender cuáles son los

principales factores que limitan la productividad y afectan la sanidad de los árboles. Entre los factores más relevantes se encuentran las enfermedades fitopatológicas, que son causadas por diversos tipos de microorganismos, principalmente hongos, bacterias y viroides. Estos agentes patógenos afectan de manera directa la salud del árbol y del fruto de aguacate, disminuyendo su rendimiento productivo, su calidad de fruto y, en muchos casos, provocando pérdidas económicas considerables para los productores (Pagliaccia *et al.*, 2013).

Una de las características que hace particularmente problemáticas a estas enfermedades es su alta capacidad de diseminación, ya que los patógenos pueden propagarse de un árbol a otro y entre huertos vecinos a través de diferentes mecanismos. Entre las principales vías de transmisión se encuentran el uso de injertos infectados, que puede introducir patógenos directamente en plantas nuevas; el acarreo de suelo contaminado adherido a herramientas, maquinaria o calzado; el arrastre de agua de riego contaminada que favorece la dispersión de esporas o bacterias; la transmisión por insectos vectores que transportan patógenos de un árbol enfermo a uno sano; e incluso la dispersión aérea a través del viento que lleva partículas contaminadas a largas distancias (Pagliaccia *et al.*, 2013).

La facilidad con la que estas enfermedades pueden dispersarse entre los árboles y los huertos representa un riesgo importante para toda la región productora, ya que un brote no controlado puede extenderse rápidamente y comprometer la sanidad de grandes superficies de cultivo. Por esta razón, el monitoreo constante, el diagnóstico oportuno y la implementación de estrategias preventivas y de control biológico resultan esenciales para asegurar la productividad del aguacate y para cumplir con las exigencias fitosanitarias impuestas por los mercados internacionales.

5.2.5. Impacto de la antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*) sobre el manejo poscosecha, vida de anaquel y los parámetros fisicoquímicos del aguacate.

Dentro de todo el proceso productivo del aguacate, un aspecto crucial que está estrechamente relacionado con la sanidad y la calidad del fruto es la etapa de poscosecha. La poscosecha inicia en el momento en que el fruto es cortado del árbol, y abarca todas las actividades

posteriores como la recolección, almacenamiento, selección, empaque y transporte de los frutos hacia los diferentes mercados de destino. Este periodo resulta ser uno de los más críticos para el aguacate, ya que a partir de la cosecha y hasta su presentación final al consumidor transcurre un lapso de aproximadamente 3 a 5 semanas, en el cual el fruto es altamente vulnerable a diferentes tipos de daños (Everett *et al.*, 2005).

Durante este tiempo, los frutos de aguacate pueden sufrir daños de tipo mecánico, como golpes o magulladuras, y también daños fisiológicos derivados de un manejo inadecuado de temperatura, humedad o ventilación. Estos daños no solo afectan la apariencia externa del fruto, disminuyendo su atractivo visual para el consumidor, sino que además abren la puerta a la infección por parte de diversos patógenos. En este sentido, enfermedades como la antracnosis, provocada por *Colletotrichum gloeosporioides*, se convierten en una de las principales amenazas fitosanitarias en la etapa de poscosecha, ya que los frutos dañados presentan una mayor susceptibilidad a la colonización fúngica, lo cual deteriora severamente su calidad interna y externa (Ávila-Quezada *et al.*, 2002).

La afectación del fruto durante la poscosecha impacta directamente en la cadena de valor alimentaria, ya que frutos dañados o infectados no solo pierden su valor comercial, sino que también pueden ser rechazados en los puntos de control fitosanitario, tanto nacionales como internacionales. Esto representa pérdidas económicas considerables para los productores, empacadores y exportadores, afectando la competitividad del aguacate mexicano en los mercados globales. Por lo tanto, garantizar un manejo poscosecha adecuado, junto con estrategias efectivas de prevención de enfermedades, se vuelve indispensable para proteger la calidad del producto, asegurar su inocuidad, y mantener el flujo constante de exportaciones que sostiene la economía de muchas regiones productoras (Everett *et al.*, 2005).

5.2.6. Impacto sobre la vida de anaquel del aguacate (*Persea americana* Mill)

Es importante señalar que todo el manejo que se realiza en el huerto, antes y durante el desarrollo del fruto, tiene un impacto directo en el comportamiento del aguacate durante la etapa de poscosecha. Cada actividad agrícola, desde la poda hasta el manejo fitosanitario,

influye en la resistencia del fruto frente a los daños mecánicos y fisiológicos que pueden presentarse tras la cosecha. Además, las condiciones ambientales a las que se expone el fruto durante su formación, como la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones, también son determinantes para su comportamiento y sanidad en la poscosecha, razón por la cual es indispensable realizar un monitoreo cuidadoso y constante de estos factores (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2020).

Aunado a lo anterior, la calidad poscosecha del fruto está influenciada por una serie de prácticas de manejo agronómico que comienzan mucho antes de la cosecha. Factores como la adecuada elección de la combinación cultivar/portainjerto, el diseño correcto de la plantación, la ejecución oportuna de podas sanitarias, el manejo integral de plagas y enfermedades, el suministro eficiente de agua mediante un sistema de riego apropiado, y la aplicación racional de biorreguladores, tienen un efecto acumulativo que determina en gran medida la calidad final del fruto en poscosecha. Entre todos estos factores, uno de los más relevantes es el manejo de una nutrición balanceada, ya que esta permite mantener árboles vigorosos, con un sistema inmunológico fuerte, capaces de soportar de mejor manera las condiciones adversas del campo y resistir ataques de patógenos durante todo el ciclo productivo (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2020).

La deficiencia o el desbalance nutricional, por el contrario, puede debilitar las defensas naturales de las plantas, incrementando la incidencia de enfermedades como la antracnosis o el ataque de otros hongos oportunistas durante la poscosecha. Por ello, todas estas prácticas agronómicas deben ser vistas de manera integrada y no como acciones aisladas, ya que su correcta implementación es clave para garantizar frutos de alta calidad, minimizar las pérdidas poscosecha y cumplir con las estrictas normativas de sanidad e inocuidad exigidas en el comercio internacional del aguacate (Bernal-Estrada *et al.*, 2020).

Como se ha mencionado anteriormente, el manejo adecuado durante el ciclo de producción del aguacate tiene un impacto directo sobre la calidad de los frutos en la etapa de poscosecha. En este sentido, uno de los principales problemas que se presentan en la poscosecha de aguacate ocurre en frutos que provienen de árboles que presentan trastornos nutrimentales. Cuando los árboles no reciben una nutrición adecuada y balanceada, se debilitan sus estructuras internas y se altera el metabolismo normal del fruto, haciéndolo más susceptible

a la aparición de desórdenes fisiológicos que afectan de manera negativa su apariencia y su calidad comercial (Munhuweyi *et al.*, 2020).

Entre los desórdenes fisiológicos más frecuentes que se observan en la pulpa del aguacate destacan el oscurecimiento de los haces vasculares, la presencia de pulpa gris y la aparición de manchas negras en la pulpa. Estas alteraciones no solo afectan la apariencia interna del fruto, sino que también disminuyen su aceptación en los mercados internacionales, ya que los consumidores suelen asociar estos defectos con frutos de menor frescura o calidad. Cabe destacar que la incidencia de estos problemas aumenta considerablemente cuando los frutos son almacenados en condiciones de refrigeración prolongada, especialmente cuando la temperatura de almacenamiento es cercana a los 5.5 °C y el periodo de conservación supera las dos o tres semanas. Este es precisamente el caso de los envíos de aguacate destinados a mercados como el de Estados Unidos, donde el tiempo de traslado y almacenamiento puede superar los 20 días antes de que el fruto llegue al consumidor final (González *et al.*, 2017).

Por lo tanto, es fundamental no solo garantizar un buen manejo de la sanidad del cultivo y de las prácticas agrícolas, sino también prestar especial atención a la nutrición del árbol, de manera que los frutos obtenidos tengan una estructura celular resistente, un metabolismo equilibrado y una mayor capacidad para soportar los periodos de almacenamiento y transporte sin deteriorarse. De lo contrario, los problemas de calidad poscosecha pueden impactar gravemente la cadena de valor, generando pérdidas económicas para los productores y afectando la reputación del aguacate mexicano en los mercados internacionales.

La calidad del aguacate no solo depende de su sanidad y apariencia externa, sino que también guarda una estrecha relación con sus características sensoriales, las cuales son determinantes para la aceptación del fruto por parte del consumidor. De hecho, el sabor del aguacate es considerado tan importante que continúa siendo uno de los principales criterios de clasificación de calidad entre las diferentes variedades de *Persea americana*. En esta categoría, el aguacate Hass es reconocido a nivel mundial como una de las variedades con mejor sabor, lo que ha contribuido de manera significativa a su posicionamiento como el principal cultivar exportado (Pagliaccia *et al.*, 2013).

Cada cultivar de aguacate presenta una gran variabilidad en cuanto al tamaño, peso y composición química del fruto, y estas diferencias dependen en gran medida de las condiciones climáticas de la región productora, así como de las prácticas de manejo agronómico que se implementan en el huerto durante el ciclo de cultivo. Factores como la altitud, la temperatura, la disponibilidad de agua, el régimen de fertilización, la poda, y el control fitosanitario influyen de manera directa en el desarrollo de los atributos físicos y químicos del fruto. Por esta razón, el manejo agronómico no solo debe estar enfocado en maximizar los rendimientos, sino también en preservar o mejorar las cualidades organolépticas que hacen al aguacate altamente apreciado en los mercados internacionales (Pagliaccia *et al.*, 2013).

En este contexto, se han desarrollado e implementado diversos tratamientos y tecnologías dirigidas al mejoramiento de la productividad del aguacate. No obstante, es importante resaltar que la calidad organoléptica sigue siendo uno de los parámetros más importantes a la hora de decidir si un tratamiento o práctica de manejo debe ser adoptada de manera generalizada. Incluso si una práctica agronómica resulta en un incremento notable en la productividad, esta puede ser descartada si altera negativamente atributos esenciales como el sabor, la textura o el aroma del fruto. Esto demuestra que, en la producción de aguacate, no basta con enfocarse únicamente en cantidad, sino que es necesario lograr un equilibrio entre productividad y calidad sensorial, para asegurar la satisfacción del consumidor y la competitividad del fruto en los mercados de exportación (Pagliaccia *et al.*, 2013).

De esta manera, se refuerza la importancia de integrar prácticas de manejo que además de proteger al cultivo de enfermedades fitosanitarias como la antracnosis, también aseguren la preservación de las propiedades sensoriales del fruto, manteniendo así el prestigio y la demanda del aguacate Hass en el ámbito internacional.

El proceso de maduración del fruto representa una etapa crítica tanto para su calidad como para su sanidad, y tiene una relación directa con su comportamiento en poscosecha. Un fruto maduro es el resultado de una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos que ocurren en la etapa final del desarrollo, y que transforman al fruto en un órgano comestible, atractivo no solo para los consumidores humanos, sino también para los dispersores naturales de semillas, como diversos animales. Estos cambios, aunque pueden variar ampliamente entre diferentes

especies de frutas, siguen ciertos patrones generales que son esenciales para comprender el comportamiento poscosecha del aguacate (Flores *et al.*, 2016).

Entre los cambios más importantes que ocurren durante la maduración se encuentra la modificación de la estructura de la pared celular, lo cual impacta directamente en la textura del fruto, haciéndola más suave y jugosa. También se producen cambios en la turgencia celular, donde las células pierden rigidez debido a la reducción del contenido de agua o al debilitamiento de las paredes celulares. A nivel metabólico, ocurre la conversión de almidones de reserva en azúcares simples, lo que incrementa la dulzura y mejora el perfil de sabor del fruto. Simultáneamente, se presentan alteraciones en la biosíntesis de pigmentos, responsables de los cambios de color externos que indican el grado de madurez, así como la biosíntesis y degradación de compuestos volátiles que definen el aroma característico del aguacate (Flores *et al.*, 2016).

Sin embargo, es importante señalar que la maduración también implica una consecuencia negativa: el incremento en la susceptibilidad del fruto a los patógenos, especialmente durante el periodo de poscosecha. La pérdida de firmeza y la modificación de las paredes celulares facilitan la penetración de hongos como *Colletotrichum gloeosporioides*, el agente causal de la antracnosis, aumentando el riesgo de deterioro y reduciendo la vida de anaquel del fruto. Este aspecto es particularmente relevante en la producción destinada a exportación, donde los tiempos de transporte y almacenamiento son prolongados y cualquier daño en la calidad del fruto puede traducirse en pérdidas económicas significativas.

Dentro de los procesos que afectan la calidad del fruto durante la etapa de poscosecha, uno de los fenómenos más importantes es la pérdida de peso, la cual ocurre principalmente debido a la transpiración y, en menor medida, al consumo de sustratos metabólicos. Durante la maduración, los frutos de aguacate, que son frutos carnosos con un alto contenido de agua, pierden peso constantemente al ser expuestos a una atmósfera cuya humedad es inferior a la del interior del fruto. Este desequilibrio genera un flujo continuo de agua hacia el exterior, lo que resulta en una merma gradual tanto en el peso como en la calidad del fruto (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1982; Saucedo-Hernández *et al.*, 2005).

La velocidad y la intensidad con que se produce esta pérdida de agua se modifican dependiendo de varios factores. Entre los factores intrínsecos al fruto se encuentran la

presencia y características de la cutícula, la cantidad y funcionalidad de las lenticelas, y el grado de apertura o cierre de los estomas. A su vez, los factores externos, como la aplicación de recubrimientos protectores y las condiciones ambientales a las que se expone el fruto después de la cosecha, especialmente la temperatura y el gradiente de humedad relativa, juegan un papel fundamental. Generalmente, la pérdida de agua es más acelerada durante los primeros días tras la separación del fruto de la planta, ya que el tejido vegetal pierde parte de su capacidad natural de regulación hídrica al quedar desconectado del sistema de transporte de agua de la planta madre (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1982; Saucedo-Hernández *et al.*, 2005).

Esta pérdida de agua libre es considerada una de las principales causas de deterioro poscosecha, ya que no solo provoca una pérdida cuantitativa directa —al reducir el peso vendible del fruto—, sino que también afecta de manera significativa la calidad visual y organoléptica. El fruto comienza a mostrar signos de deshidratación como la pérdida de brillo en la piel, reducción de la turgencia, aparición de arrugas, disminución de la jugosidad en la pulpa y, en casos más severos, deterioro del valor nutricional. Todo esto impacta negativamente en la percepción de calidad por parte del consumidor y en la competitividad del producto en los mercados de exportación, donde se exige que los frutos lleguen en óptimas condiciones de frescura y apariencia.

Por lo tanto, controlar la pérdida de agua durante la poscosecha, junto con un manejo adecuado de la sanidad y la maduración del fruto, es esencial para minimizar pérdidas económicas y conservar la calidad del aguacate, asegurando así su éxito comercial en los mercados internacionales (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1982; Saucedo-Hernández *et al.*, 2005).

A lo largo de todo el ciclo productivo del aguacate, existen múltiples factores que pueden influir de manera significativa en la calidad final del fruto, tanto en campo como en la etapa de poscosecha. Entre los principales factores precosecha que afectan la calidad se encuentran el genotipo del cultivo, es decir, las características genéticas específicas de la variedad sembrada, las condiciones climáticas como la temperatura, la humedad y la radiación solar, así como las condiciones edáficas relacionadas con la composición y calidad del suelo. A esto se suman las prácticas agrícolas aplicadas durante el manejo del cultivo, como el tipo de fertilización, los métodos de riego, el control fitosanitario y la ejecución de podas, que en

conjunto determinan el estado fisiológico del árbol y, por consiguiente, la calidad del fruto obtenido (Escobar *et al.*, 2019).

Además, no solo los factores precosecha impactan la calidad del fruto, sino que también las actividades que se realizan durante la cosecha y la poscosecha pueden acelerar procesos de senescencia natural. Estos procesos de deterioro afectan sensiblemente la apariencia, textura, sabor y vida útil del aguacate, limitando de manera considerable su período de comercialización. De todos estos factores, el momento oportuno de cosecha es uno de los más críticos, ya que cosechar frutos en un estado de madurez inadecuado puede aumentar significativamente las pérdidas poscosecha debido a una mayor susceptibilidad a daños mecánicos, deshidratación, infecciones por patógenos y deterioro acelerado durante el almacenamiento y transporte (Escobar *et al.*, 2019).

La senescencia, aunque es un proceso fisiológico natural e inevitable en los frutos, puede verse notablemente acelerada por condiciones desfavorables. Factores como una nutrición inadecuada, un mal manejo agronómico, daños mecánicos durante la cosecha y el manejo poscosecha, así como la exposición a temperaturas elevadas, incrementan la velocidad a la que los frutos pierden calidad. El almacenamiento y el transporte en condiciones poco controladas, sobre todo cuando los frutos son sometidos a altas temperaturas o a fluctuaciones térmicas, deterioran más rápido las estructuras celulares del fruto, promoviendo la aparición de daños visibles y reduciendo su vida de anaquel (Arpaia *et al.*, 2004).

5.3. Impacto sobre el valor comercial y la exportación del aguacate (*Persea americana* Mill).

Actualmente, el impacto económico del fruto del aguacate, especialmente de la variedad Hass, es considerable. De acuerdo con datos recientes proporcionados por la Agencia Nacional de Aduanas de México (ANAM), durante el año 2024 se exportaron a Estados Unidos aproximadamente 1.28 millones de toneladas métricas. De este volumen, el 95.8% correspondió a fruto en fresco, el 2.9% a productos procesados como guacamole, y el 1.3% restante a pulpa de aguacate, lo que en conjunto generó un valor comercial anual de aproximadamente 2 mil 948 millones de dólares. Esto refleja la enorme importancia que el

aguacate tiene no solo en el ámbito agrícola, sino también en el económico y comercial para México (Morales *et al.*, 2025).

Considerando la importancia de controlar adecuadamente las principales enfermedades fitosanitarias del aguacate para mantener la calidad del fruto y su competitividad en los mercados internacionales, es fundamental señalar que la producción de aguacate destinado a la exportación se rige por un estricto conjunto de normas de sanidad e inocuidad. La producción de este fruto es altamente competitiva a nivel global, lo cual se debe no solo al incremento constante en los rendimientos de los cultivos, sino también a la optimización en el uso de los factores de producción, como el manejo eficiente del agua, los fertilizantes y la protección fitosanitaria, además de que los productores logran obtener un precio de venta superior al cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en los mercados de destino (Franco *et al.*, 2018; Bernal-Estrada *et al.*, 2020).

En este contexto, para garantizar que el aguacate mexicano cumpla con los estándares de exportación y mantenga su posición competitiva, en México existen dos tipos principales de normas que regulan la producción, procesamiento y comercialización del fruto. Estas son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX). Las NOM son de carácter obligatorio y establecen los requisitos mínimos en aspectos de sanidad, inocuidad alimentaria, calidad comercial y trazabilidad que deben cumplir los productores y empaques. Por su parte, las NMX son de carácter voluntario, aunque en muchos casos su cumplimiento representa un valor agregado para los productos, sobre todo cuando se busca acceder a mercados premium o cumplir con certificaciones internacionales. Tanto las NOM como las NMX se aplican tanto para el mercado nacional como para la exportación, asegurando así que los productos mexicanos, como el aguacate, puedan competir en igualdad de condiciones con los de otros países productores.

El cumplimiento de estas normas no solo protege la salud de los consumidores, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles y responsables, favoreciendo el crecimiento del sector aguacatero a largo plazo.

Cuadro 1. Normas aplicables al cultivo de aguacate en México (secretaría de economía, 2023)

CLAVE	FECHA	DESCRIPCION
NORMATIVA		
NOM-066-FITO-2002	2005-05-18	Especificaciones para la movilización y manejo fitosanitario del aguacate
NOM-076-FITO-1999	2000-04-03	Establece el sistema preventivo a efecto de prevenir la introducción y establecimiento en el territorio nacional de moscas exóticas de la fruta
NOM-128-SCFI-1998	1998-08-31	Tiene como objeto establecer la información comercial que debe contener el etiquetado del envase en el que se contiene el fruto de aguacate, de origen nacional o extranjero.
NOM-144-SEMARNAT-2004	2005-01-18	Establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera
NMX-FF-016-SCFI-2016	2017-01-06	Establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el aguacate, para ser consumido en estado fresco, después de su acondicionamiento y envasado.

Además del cumplimiento de las normas de sanidad e inocuidad, otro aspecto fundamental dentro de la producción y exportación de aguacate en México es el apoyo que reciben los productores a través de diferentes organismos e instituciones dedicadas a fortalecer el sector. En este sentido, es de suma importancia resaltar el papel que desempeña la APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México), la cual funge como una de las principales entidades de apoyo para los productores y empacadores que desean comercializar su fruta en los mercados internacionales (APEAM, 2020).

A través de APEAM, los productores no solo tienen la posibilidad de agruparse y organizarse de manera formal, sino que también obtienen acceso a diferentes programas de capacitación, que les permiten actualizarse en temas de manejo fitosanitario, buenas prácticas agrícolas, procesos de certificación y estrategias de comercialización. Esta asociación facilita también la obtención de certificaciones oficiales, necesarias para cumplir con los requisitos de exportación impuestos por los países importadores, como Estados Unidos, Canadá, Japón y algunos países europeos. Además, la APEAM lleva a cabo actividades de promoción del aguacate mexicano a nivel internacional, posicionándolo como un producto de alta calidad y favoreciendo su reconocimiento en mercados altamente competitivos (APEAM, 2020).

De esta manera, el trabajo conjunto entre los productores, las autoridades fitosanitarias y las organizaciones como la APEAM ha sido clave para mantener el crecimiento sostenido de las exportaciones de aguacate, asegurando que el producto no solo cumpla con las exigencias legales, sino que también se mantenga como uno de los frutos más valorados en el comercio internacional. Este tipo de apoyos resulta esencial para que los productores puedan enfrentar los retos asociados a las enfermedades fitosanitarias, los cambios en las normativas internacionales y las nuevas exigencias de los consumidores (Bernal-Estrada *et al.*, 2020).

5.3.1. pH

El pH del fruto de aguacate constituye un parámetro fisiológico clave en la calidad poscosecha y en la susceptibilidad a enfermedades. En condiciones normales, los frutos de aguacate presentan valores de pH relativamente bajos en estado inmaduro, los cuales aumentan gradualmente durante la maduración. Este cambio natural del pH se ha asociado con procesos enzimáticos y metabólicos que facilitan el ablandamiento del tejido, la degradación de la pared celular y la liberación de compuestos asociados con el sabor y la textura. Sin embargo, cuando el fruto es colonizado por *Colletotrichum Ggloeosporioides*, agente causal de la antracnosis, estas variaciones se intensifican y adquieren un papel fundamental en la patogénesis del hongo (Alkan *et al.*, 2009).

Diversos estudios han demostrado que *C. gloeosporioides* manipula activamente el microambiente del fruto para favorecer la infección. Una de las estrategias del patógeno consiste en inducir la alcalinización del tejido vegetal mediante la liberación de compuestos

nitrogenados, principalmente amoníaco. Este proceso conduce a un aumento significativo del pH en las áreas infectadas, que puede pasar de valores cercanos a 5 en frutos inmaduros a más de 6 en tejidos en proceso de colonización. Esta alcalinización no solo debilita las barreras naturales del aguacate, sino que también activa la expresión de enzimas fúngicas como las pectato liasas, cuya actividad óptima se alcanza en condiciones cercanas a la neutralidad (Drori *et al.*, 2003). En consecuencia, la elevación del pH promueve la degradación de la pared celular y acelera el desarrollo de lesiones características de la antracnosis (Prusky *et al.*, 2001)

La influencia del pH en la patogénesis también está estrechamente relacionada con el estado de madurez del fruto. Durante la poscosecha, el incremento natural del pH, propio de la maduración, crea un ambiente propicio para que el hongo transite de un estado latente a uno patogénico. Esta transición explica por qué la antracnosis se manifiesta con mayor severidad en frutos en estado de consumo, cuando la alcalinización ya ha debilitado los mecanismos de defensa del pericarpio. En experimentos controlados, se ha evidenciado que incluso la aplicación exógena de soluciones alcalinas o de hidróxido de amonio puede inducir la activación de infecciones latentes, lo que confirma la relevancia del pH en el proceso infeccioso (Miranda-Gómez *et al.*, 2014).

Investigaciones comparativas entre cultivares de aguacate han mostrado que la resistencia relativa a la antracnosis está correlacionada con la capacidad de los tejidos para mantener un pH más bajo durante la maduración. Cultivares o portainjertos considerados resistentes presentan valores de $\text{pH} \leq 5.5$ en la epidermis y mesocarpio, lo que limita la actividad enzimática del patógeno y retrasa el desarrollo de lesiones. En contraste, aquellos considerados susceptibles superan este umbral, lo que facilita la rápida progresión de la enfermedad. Además, factores agronómicos como la fertilización nitrogenada se han asociado con un incremento del pH en la piel del fruto y, por ende, con una mayor incidencia de síntomas como el “pepper spot” y la antracnosis (Kramer-Haimovich *et al.*, 2006).

La relación entre el pH y la calidad poscosecha tiene implicaciones directas en la vida útil y el valor comercial del aguacate. Un aumento excesivo del pH, inducido tanto por el proceso de maduración como por la acción del hongo, no solo afecta la integridad del tejido, sino que también altera el perfil sensorial del fruto, disminuye su aceptación en mercados

internacionales y eleva las pérdidas económicas por descarte. Esto cobra especial relevancia en el contexto de exportación, donde la incidencia de antracnosis constituye una de las principales limitaciones fitosanitarias y comerciales (Yakoby *et al.*, 2001).

5.3.2. Color.

El color del fruto de aguacate constituye uno de los atributos más importantes de calidad tanto en el mercado nacional como en el de exportación. Este parámetro visual se relaciona directamente con el estado de madurez, la frescura y la aceptación por parte del consumidor. En condiciones normales, el fruto transita desde un verde característico en su etapa inmadura hasta tonalidades más oscuras, como el púrpura o negro, en el caso del cultivar ‘Hass’, a medida que avanza la maduración. Sin embargo, este proceso natural se ve drásticamente alterado por la infección de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causal de la antracnosis, que provoca modificaciones evidentes y prematuras en la apariencia externa del fruto, comprometiendo su valor comercial (Cuéllar-Torres *et al.*, 2022).

La infección por *C. gloeosporioides* se manifiesta en la piel del fruto con la aparición de manchas pequeñas, circulares y de color café claro, que progresivamente se tornan marrones y finalmente negras. Estas lesiones, al expandirse, generan áreas hundidas y de bordes difusos que contrastan con el color natural del aguacate, reduciendo su atractivo visual. En casos avanzados, las lesiones no solo alteran el color superficial, sino que además permiten la proliferación de masas de esporas de tonalidad rosada o anaranjada, fácilmente visibles en la superficie. Este fenómeno incrementa la percepción de deterioro, ya que el fruto adquiere un aspecto moteado poco uniforme y asociado a descomposición, lo que resulta inaceptable en los estándares de calidad de exportación (Cuéllar-Torres *et al.*, 2022).

Estudios recientes han documentado que la progresión del color está estrechamente vinculada al desarrollo de la antracnosis. Investigaciones poscosecha han mostrado que frutos infectados presentan una disminución significativa en los valores de ángulo de tono, indicador instrumental del color. Mientras que los frutos sanos conservan un verde intenso durante la primera etapa de almacenamiento, los frutos infectados rápidamente pierden esta tonalidad, mostrando valores de Hue que corresponden a colores más amarillentos, marrones y finalmente negros. Esta alteración acelerada del color se asocia tanto con el avance del

patógeno en la epidermis como con la acción de enzimas degradadoras y la acumulación de pigmentos oscuros en las zonas necrosadas (Correa-Pacheco *et al.*, 2022).

La alteración cromática no se limita a la piel del fruto. En condiciones de infección avanzada, la antracnosis puede afectar la pulpa, ocasionando un oscurecimiento que pasa de un verde amarillento a tonalidades marrón oscuro o negro. Esto no solo modifica la apariencia interna, sino que también reduce drásticamente la calidad organoléptica del aguacate, afectando su sabor y su textura. Para el consumidor, la presencia de manchas oscuras internas genera rechazo inmediato y aumenta las pérdidas poscosecha (Álvarez-Bravo y Salazar-García, 2017; Colín-Chávez *et al.*, 2024).

Frutos en estado fisiológicamente inmaduro presentan lesiones más pequeñas y limitadas, mientras que los frutos cercanos al consumo experimentan un oscurecimiento más rápido y generalizado. Esto coincide con la transición del hongo de un estado latente a uno patogénico, facilitado por las condiciones metabólicas del fruto en maduración. Así, el color no solo es un indicador visual de calidad, sino también un reflejo del estado fisiológico y fitopatológico del aguacate (Correa-Pacheco *et al.*, 2022).

Se ha descrito que factores de manejo agronómico y condiciones ambientales influyen en la expresión de síntomas cromáticos. Por ejemplo, frutos cultivados bajo ciertas prácticas de fertilización presentan diferencias en la intensidad de las manchas oscuras, mientras que la humedad y la temperatura poscosecha modulan la velocidad con la que aparecen los cambios de color. En este sentido, el control de la enfermedad adquiere una relevancia aún mayor, pues no solo se trata de reducir la incidencia del patógeno, sino también de preservar un atributo estético esencial que determina el destino comercial del producto (Colín-Chávez *et al.*, 2024).

La infección por *Colletotrichum gloeosporioides* afecta de manera severa y progresiva el color del fruto de aguacate, tanto en su piel como en la pulpa. Desde la aparición inicial de manchas café hasta la proliferación de esporas visibles y el oscurecimiento interno del tejido, el color se transforma en un indicador claro de deterioro. Estas modificaciones impactan directamente en la percepción del consumidor, reducen la aceptación en mercados de exportación y aumentan las pérdidas económicas. Por lo tanto, comprender la dinámica de los cambios de color asociados a la antracnosis es fundamental para desarrollar estrategias

de manejo poscosecha que permitan conservar la calidad visual y prolongar la vida útil del aguacate en la cadena comercial (Cuéllar-Torres *et al.*, 2022).

5.3.3. Fenoles.

Diversos estudios han señalado que el impacto de la antracnosis está estrechamente relacionado con los cambios en los compuestos fenólicos presentes en el aguacate, los cuales cumplen un papel fundamental en los mecanismos de defensa natural de la planta (Rodríguez-López *et al.*, 2009).

Los fenoles constituyen metabolitos secundarios clave en la defensa contra patógenos, ya que poseen propiedades antifúngicas y participan en el fortalecimiento estructural de los tejidos del fruto. Sin embargo, se ha demostrado que su concentración disminuye conforme avanza la maduración, lo que favorece la penetración y el desarrollo de *C. gloeosporioides*. Esta reducción de fenoles no solo debilita la resistencia natural del fruto, sino que también intensifica la severidad de los síntomas en poscosecha. Investigaciones recientes han identificado que fenoles como el ácido cafeico, vanílico, p-cumárico, gálico y ferúlico pueden inhibir el crecimiento micelial del hongo e incluso reducir la incidencia de la enfermedad bajo condiciones de almacenamiento, además de inducir actividades enzimáticas de defensa como la peroxidasa, el polifenol oxidasa y la fenilalanina amoníliasa. No obstante, en frutos maduros estas defensas suelen ser menos eficientes, lo que explica la alta vulnerabilidad en etapas avanzadas de la cadena de suministro (Alozie-Osondu *et al.*, 2022).

El debilitamiento de la actividad fenólica en frutos afectados por antracnosis tiene consecuencias directas en la calidad visual, nutricional y funcional del aguacate. La pérdida de fenoles compromete el color, la firmeza y la capacidad antioxidante del fruto, reduciendo su vida de anaquel y afectando la aceptabilidad del consumidor. Como resultado, el producto se devalúa en el mercado, disminuye la competitividad del país exportador y aumenta la generación de desperdicio alimentario. De hecho, se ha estimado que las pérdidas económicas por antracnosis oscilan entre un 20 y un 50 % del rendimiento poscosecha, lo que representa un riesgo significativo para la rentabilidad de productores y exportadores. A ello se suma que los mercados internacionales demandan cada vez más productos libres de residuos químicos, lo que limita el uso de fungicidas sintéticos y obliga a explorar alternativas

basadas en la inducción de compuestos fenólicos o en el uso de agentes biológicos que potencien estas defensas naturales (Bañuelos-González *et al.*, 2023).

En este contexto, la investigación científica de los últimos años ha mostrado que la aplicación de elicitores naturales, como el metil jasmonato, y de agentes biológicos, como bacterias endófitas y levaduras antagonistas, puede incrementar la síntesis de fenoles y reducir de manera significativa la incidencia de antracnosis sin afectar negativamente la calidad del fruto (Ávila-Quezada *et al.*, 2002). Estos tratamientos, al estimular la acumulación de metabolitos fenólicos, contribuyen a mantener la apariencia, el valor nutricional y la vida útil del aguacate, aspectos críticos para su comercialización en mercados altamente regulados. Así, los fenoles no solo representan un indicador del daño ocasionado por *C. gloeosporioides*, sino también un componente central en las estrategias de manejo poscosecha dirigidas a disminuir pérdidas económicas y mejorar la sustentabilidad del sector aguacatero (González-Gutiérrez *et al.*, 2024).

5.3.4. Saponinas.

La antracnosis, causada principalmente por *Colletotrichum gloeosporioides*, constituye una de las enfermedades poscosecha más graves del aguacate, ya que no solo afecta la apariencia externa del fruto, sino que también induce alteraciones bioquímicas profundas en sus metabolitos secundarios. Entre estos compuestos destacan las saponinas triterpénicas, moléculas de gran interés debido a sus propiedades antifúngicas, antioxidantes y nutraceuticas. Las saponinas actúan como parte de la barrera química natural del aguacate, interfiriendo con la integridad de las membranas celulares de los patógenos e inhibiendo su desarrollo. Su concentración es particularmente relevante en la cáscara, donde cumplen un papel esencial como línea de defensa frente a la colonización fúngica (Kolawole *et al.*, 2025).

El impacto de la antracnosis sobre las saponinas parece presentar un patrón bifásico. En la fase inicial de la infección, caracterizada por el establecimiento latente del hongo, el fruto tiende a activar mecanismos de defensa que incluyen la síntesis de compuestos fenólicos, terpenoides y, de manera destacada, saponinas. En esta etapa, se ha reportado un incremento en la acumulación de estos metabolitos como parte de la respuesta de resistencia inducida, lo cual ayuda a limitar la progresión temprana de la infección. Sin embargo, durante la fase

necrotrófica, cuando el patógeno secreta enzimas hidrolíticas como cutinasas, pectinasas y glucanasas, así como efectores moleculares capaces de interferir con la señalización defensiva de la planta, se observa una disminución en el contenido total de saponinas. Este fenómeno no solo reduce la capacidad antifúngica del fruto, sino que también compromete su estabilidad poscosecha (Rumipamba *et al.*, 2021).

Además de la reducción cuantitativa, la infección puede alterar el perfil cualitativo de las saponinas, modificando el balance entre formas libres y conjugadas. Dichos cambios no solo tienen implicaciones en la resistencia del fruto, sino también en sus características organolépticas, como el amargor, y en su potencial nutracéutico. En consecuencia, los aguacates afectados por antracnosis no solo presentan un deterioro visible acelerado, sino que también pueden ver comprometida su funcionalidad como alimento rico en compuestos bioactivos. Este efecto se suma al impacto sobre otros metabolitos secundarios, como fenoles y flavonoides, generando un escenario de debilitamiento general de la defensa química del fruto frente a infecciones secundarias (Kolawole *et al.*, 2025; Rumipamba *et al.*, 2021).

5.4. Control Biológico de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) a base de *Bacillus subtilis* y *Trichodermas*.

5.4.1. Fundamentos del control biológico.

La antracnosis, causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, constituye uno de los principales problemas fitopatológicos en el cultivo de aguacate, afectando tanto la producción en campo como la calidad del fruto en poscosecha. Ante la creciente necesidad de reducir el uso de fungicidas sintéticos, se han intensificado los estudios orientados al aprovechamiento de agentes de control biológico, entre los cuales destacan *Bacillus subtilis* y especies de *Trichoderma harzianum*. Estos microorganismos ejercen su efecto a través de mecanismos de antibiosis y producción de metabolitos secundarios antifúngicos que inhiben directamente al patógeno y reducen la incidencia de la enfermedad (Heo *et al.*, 2024).

En el caso de *Bacillus subtilis*, su eficacia radica principalmente en la síntesis de metabolitos de naturaleza lipopeptídica, tales como surfactina, iturina, fengicina y mielosubtilina. Estos compuestos alteran la permeabilidad de la membrana celular de los hongos, provocando la

pérdida de integridad estructural y la inhibición del crecimiento micelial. Investigaciones recientes han demostrado que la capacidad antagonista de *B. subtilis* puede potenciarse mediante condiciones nutricionales específicas, como la presencia de ciertos carbohidratos (ácido cítrico, D-galactosa, piruvato y benzoato) y aminoácidos (L-asparagina y L-ácido aspártico), que estimulan la producción de lipopeptidos y aumentan el efecto preventivo y curativo contra *C. gloeosporioides*. Asimismo, el papel de los compuestos volátiles (VOCs) producidos por cepas de *B. subtilis* ha cobrado relevancia, ya que actúan como moléculas señalizadoras y ejercen una acción fungistática y fungicida sobre el patógeno, representando un mecanismo adicional de biocontrol (Ali *et al.*, 2020).

Por su parte, *Trichoderma* spp. se caracteriza por producir una amplia diversidad de metabolitos secundarios con actividad antifúngica, entre los que destacan terpenos, pironas, gliotoxinas, gliovirinas y peptaiboles (López-López *et al.*, 2022). Estos compuestos actúan de manera directa sobre el hongo patógeno al inducir la lisis celular y alterar procesos metabólicos esenciales. La eficacia de *Trichoderma* en el control de antracnosis en aguacate ha sido confirmada mediante ensayos *in vitro* e *in vivo*, donde cepas nativas mexicanas de *T. harzianum* han mostrado porcentajes de inhibición superiores al 80 % en condiciones de laboratorio, e incluso eficacias mayores al 90 % bajo condiciones controladas en fruto (Chandler *et al.*, 2008). Este hallazgo resalta la importancia de la selección de cepas locales adaptadas a las condiciones agroclimáticas de la región, lo que aumenta la viabilidad de su implementación en programas de manejo integrado (Poveda *et al.*, 2022).

Un aspecto particularmente relevante es la interacción sinérgica entre *B. subtilis* y *Trichoderma*. Estudios recientes han mostrado que el co-cultivo de ambos microorganismos incrementa la producción de metabolitos secundarios y amplifica la respuesta antagonista frente a *C. gloeosporioides*. Esta estrategia representa una alternativa prometedora, no solo porque potencia la acción antifúngica, sino también porque diversifica los mecanismos de acción, dificultando que el patógeno desarrolle resistencia. Además, la combinación de compuestos volátiles bacterianos y metabolitos fúngicos crea un ambiente hostil para el desarrollo del hongo, aumentando la protección del fruto durante la etapa de poscosecha (López-López *et al.*, 2022).

5.4.2. Competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo.

El control biológico de la antracnosis en aguacate mediante *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp. se basa en mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes. *B. subtilis* es capaz de colonizar rápidamente la superficie de hojas y frutos formando biopelículas, lo que le permite desplazar a *Colletotrichum gloeosporioides*. Además, produce sideróforos como la bacillibactina que secuestran hierro, un micronutriente esencial para el hongo, generando un ambiente desfavorable para su germinación y crecimiento (Heo *et al.*, 2024; Lyng *et al.*, 2024). De manera complementaria, *Trichoderma* spp. presenta un crecimiento micelial acelerado y versátil, que ocupa los sitios de infección y compite eficazmente por carbohidratos y minerales, limitando la disponibilidad de recursos para el patógeno (Hernández-Melchor *et al.*, 2019). Esta competencia ecológica ha sido reconocida como uno de los pilares del éxito de estos biocontroladores en sistemas agrícolas y poscosecha.

En cuanto a interacciones directas, *Trichoderma* spp. destaca por su capacidad de micoparasitismo. Este proceso incluye el reconocimiento químico del patógeno, el crecimiento dirigido de sus hifas que se enrollan alrededor de *C. gloeosporioides*, y la secreción de enzimas hidrolíticas como quitinasas, glucanasas y proteasas que degradan la pared celular del hongo, lo que conduce a su lisis (Hernández-Melchor *et al.*, 2019; Infante *et al.*, 2009). Por su parte, *B. subtilis* no ejerce micoparasitismo físico, pero sí libera antibióticos como iturinas, fengicinas y surfactinas que desestabilizan las membranas celulares del hongo y provocan fugas iónicas (Guardado-Valdivia *et al.*, 2018; Yaraguppi *et al.*, 2023). Estos metabolitos no solo ejercen actividad antifúngica directa, sino que además estimulan la resistencia sistémica inducida en las plantas, reforzando su capacidad de defensa frente a infecciones posteriores (Chen *et al.*, 2025).

La aplicación de estas estrategias en aguacate ha mostrado resultados promisorios. En estudios realizados con cepas nativas, *Bacillus atrophaeus* redujo hasta en un 40% la incidencia de antracnosis en frutos de aguacate tratados en poscosecha, lo que evidencia el potencial de este género bacteriano como biofungicida natural (Guardado-Valdivia *et al.*, 2018). De manera paralela, aislados de *Trichoderma harzianum* y *T. viride* han demostrado capacidad inhibitoria frente a *C. gloeosporioides* y, además, promover el crecimiento vegetal, confirmando su papel dual como agente de biocontrol y biofertilizante (Chamarro-Anaya *et*

al., 2025; Hernández-Melchor *et al.*, 2019). En conjunto, la acción combinada de estos microorganismos —competencia, antibiosis y micoparasitismo— constituye una alternativa sostenible y eficaz al uso de fungicidas sintéticos en el manejo integrado de la antracnosis en aguacate.

5.4.3. Estrategias de aplicación.

En cuanto a las estrategias de aplicación, *Bacillus subtilis* y especies cercanas como *B. atrophaeus* han demostrado eficacia tanto en pre cosecha como en pos cosecha. Guardado-Valdivia *et al.* (2018) reportaron que la aplicación del sobrenadante libre de células de *B. atrophaeus* B5 en frutos de aguacate mediante inmersión redujo en un 40% la incidencia de antracnosis a los 10 días, lo que evidencia el potencial del tratamiento pos cosecha con suspensiones bacterianas o sus metabolitos. De manera complementaria, Heo *et al.* (2024) describen el uso de *B. subtilis* en formulaciones líquidas para aplicaciones foliares, donde su capacidad de formar biopelículas le permite colonizar eficazmente la superficie de los frutos y crear una barrera contra la infección. Asimismo, Lyng *et al.* (2024) señalan que la producción de sideróforos en estas formulaciones resulta clave para limitar la disponibilidad de hierro al patógeno, lo cual refuerza su efecto competitivo.

Por otra parte, *Trichoderma* spp. cuenta con múltiples estrategias de aplicación gracias a su versatilidad biotecnológica. Hernández-Melchor *et al.* (2019) destacan que se formula en presentaciones sólidas y líquidas, empleando como portadores polvos, gránulos, alginatos, compostas o incluso residuos agroindustriales como la cáscara de café, lo que favorece su viabilidad en campo. Infante *et al.* (2009) refieren su uso en aplicaciones al suelo y la rizósfera mediante incorporación en compostas o riego por goteo, permitiendo establecer una población estable que compite con los patógenos del suelo. En aplicaciones foliares, Chamarro-Anaya *et al.* (2025) evidenciaron que *T. harzianum* y *T. viride* reducen significativamente la incidencia de antracnosis en aguacate y, además, estimulan el crecimiento vegetal. Un aspecto clave para su efectividad, según Infante *et al.* (2009), es garantizar una alta concentración de conidias en la zona de infección, ya que el micoparasitismo requiere contacto directo con el hongo para ejercer su acción lítica.

Lo anterior muestra que *Bacillus* se emplea principalmente mediante aplicaciones foliares y poscosecha, aprovechando sus metabolitos antibióticos y sideróforos, mientras que *Trichoderma* se orienta a aplicaciones en campo y en follaje, con formulaciones sólidas o líquidas que permiten su establecimiento en el ecosistema agrícola. Ambos representan estrategias sostenibles y eficaces para el control integrado de la antracnosis en aguacate (Guardado-Valdivia *et al.*, 2018; Heo *et al.*, 2024; Lyng *et al.*, 2024; Infante *et al.*, 2009; Hernández-Melchor *et al.*, 2019; Chamarro-Anaya *et al.*, 2025).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en un huerto comercial de aguacate Hass denominado “Los Ocampo”, ubicado en la localidad de Cochisquila (18.903345, -99.745853) a una altura de 2,260 msnm en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México. Con clima de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano (A) C (w2) (w) y una temperatura media anual de 17-22 °C. (Figura 1).



Figura 1. Ubicación obtenida de Google maps, del huerto "Los Ocampo" en Cochisquila, Coatepec Harinas, Estado de México.

6.2. Tratamientos de campo

Se realizaron tres aplicaciones de los tratamientos indicados en el Cuadro 2 directamente al fruto de aguacate. Las dos primeras aplicaciones se efectuaron en campo durante el mes de marzo, cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica, aproximadamente dos semanas antes de la cosecha. La tercera aplicación se realizó en el mes de abril, ya en condiciones de almacenamiento postcosecha. Los tratamientos consistieron en combinaciones específicas de dos productos biológicos: Promobac (*Bacillus subtilis* LALBs1) y Trichomic (*Trichoderma harzianum* BMH19), cada uno aplicado en dosis de 0, 15 o 22.5 mL por cada 15 L de agua. De esta manera, se conformaron nueve tratamientos que incluyeron: un testigo sin aplicación

(A1B1), aplicaciones individuales de *Bacillus* (A2B1 y A3B1), aplicaciones individuales de *Trichoderma* (A1B2 y A1B3) y combinaciones de ambos microorganismos en distintas proporciones (A2B2, A3B2, A2B3 y A3B3). Cada uno de estos tratamientos se aplicó a tres árboles específicos, asegurando una distribución equilibrada. La aplicación se llevó a cabo utilizando una bomba aspersora de mochila Swissmex modelo Gloria 425090 con capacidad de 15 L, lo que permitió suministrar de manera uniforme 5 L de solución por árbol, dirigiendo la aspersión directamente al fruto para garantizar una adecuada cobertura.

Cuadro 2. Tratamientos de campo

Tratamiento	Aplicación (15L)	Repetición No. Árbol
A1 B1 (Testigo)	A=0ml/B=0ml	1,6,25
A2 B1	A=15ml/B=0ml	8,10,14
A3 B1	A=22.5ml/B=0ml	19,17,9
A3 B2	A=22.5ml/B=15ml	2,20,26
A2 B2	A=15ml/B=15ml	11,12,22
A3 B3	A=22.5ml/B=22.5ml	2,23,18
A2 B3	A=15ml/B=22.5ml	7,16,24
A1 B3	A=0ml/B=22.5ml	5,21,27
A1 B2	A=0ml/B=15ml	4,13,15

A Promobac (*Bacillus Subtillis* LALBs1)

B Trichomic (*Trichoderma harzianum* BMH 19)

6.3. Determinación de pH por la NMX-F-317-S-1978 Determinación de pH EN Alimentos

Materiales:

- Potenciómetro calibrado con electrodos correspondientes
- Agitador mecánico o electromagnético

- Licuadora o mortero
- Termómetro
- Vasos de precipitados
- Balanza con sensibilidad de ± 0.1 g
- Utensilios apropiados para abrir los envases

Preparación de la Muestra

- Mezclar el producto para obtener una pasta uniforme. Añadir agua destilada (10-20 ml por cada 100 g de producto) si es necesario. Ajustar la temperatura a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y determinar el pH.

Procedimiento

1. Calibrar el potenciómetro con soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10 según la acidez del producto.
2. Tomar una porción de la muestra preparada, mezclarla bien y ajustar su temperatura a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
3. Sumergir el (los) electrodo(s) en la muestra de manera que los cubra perfectamente y realizar la medición del pH.
4. Retirar el (los) electrodo(s) y lavarlos con agua.

6.4. Determinación de fenoles y saponinas

La metodología para determinar tanto saponinas como fenoles en el estudio se describe de la siguiente manera Salem *et al.* (2011).

1. **Extracción de Fenoles:** Se utilizó un volumen de 10 ml del extracto de planta, que fue fraccionado mediante separación en embudo con un doble volumen de etilo

acetato (99.7/100, grado analítico, Fermont®). Este proceso se realizó para determinar los fenoles totales (TP) mediante el secado y cuantificación de la capa de TP en el embudo.

2. **Extracción de Saponinas:** Después de la separación de los fenoles, se añadió un doble volumen de n-butanol (99.9/100, grado analítico, Fermont®) para fraccionar las saponinas (SP). La solución restante se consideró como la fracción acuosa (AF).
3. **Cuantificación:** La cantidad de saponinas se determinó a partir de la fracción obtenida en el paso anterior.

6.5. Determinación de Color

La determinación del color en la Pulpa de aguacate se realizó mediante colorimetría CIELab. Los parámetros de la colorimetría CIELab son los siguientes:

L*: Representa la luminosidad o claridad del color, con un rango de 0 (negro) a 100 (blanco).

a*: Indica la tonalidad en el eje rojo-verde, donde los valores positivos representan el rojo y los valores negativos el verde.

b*: Mide la tonalidad en el eje amarillo-azul, con valores positivos hacia el amarillo y valores negativos hacia el azul. empleando un colorímetro MiniScan EZ 4500L

Estos tres parámetros permiten describir de manera precisa el color en un espacio tridimensional.

6.6. Medición física de tamaño de hueso, pulpa y fruto

Esta medición se llevará a cabo mediante el empleo de un vernier y se expresará en milímetros.

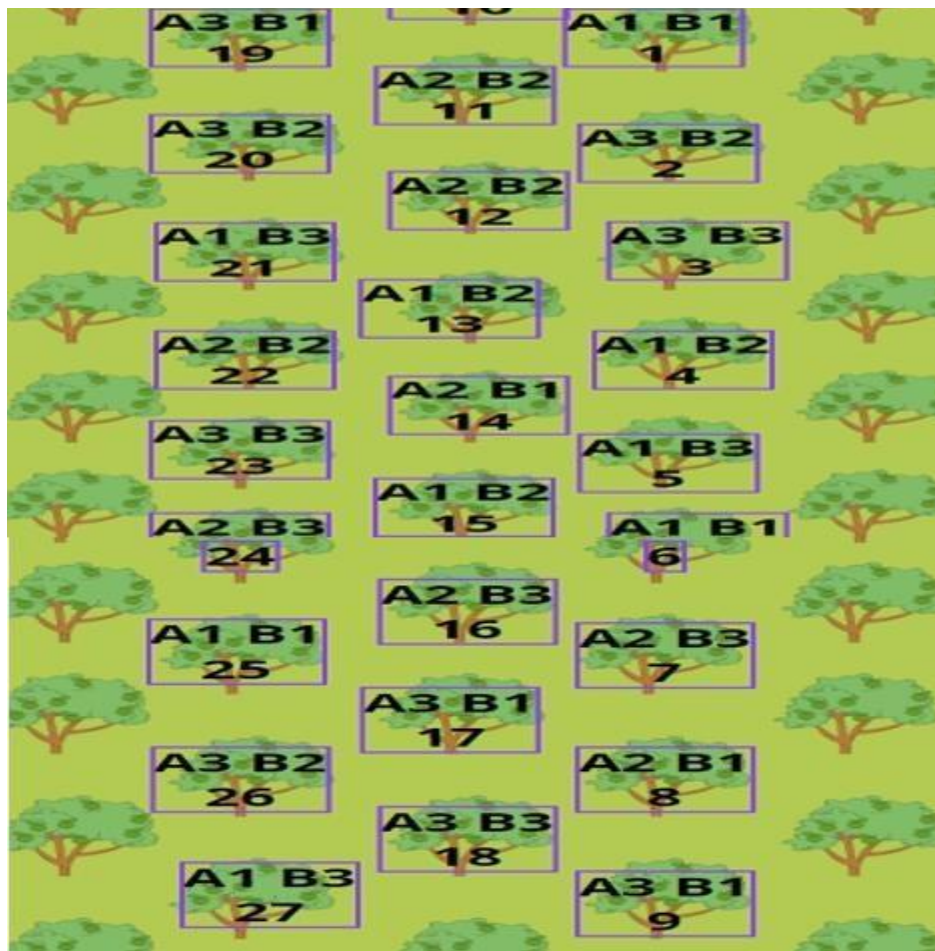
6.7. Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial 3*3 completamente aleatorizado, considerando como primer factor la aplicación de *Bacillus subtilis* LALBs1 la cual tendrá 3 niveles (0, 15 y 22.5 mL) y como segundo factor la aplicación de *Trichoderma harzianum* BMH 19 con 3 niveles (0, 15 y

22.5 mL), para dar un total de 9 tratamientos con tres repeticiones cada uno. Como variables de respuesta se consideraron las propiedades fisicoquímicas de pH, color de la pulpa, tamaño de hueso, pulpa y fruta, además de saponinas y fenoles totales, las mediciones de estos parámetros se realizaron únicamente en postcosecha y una sola ocasión. Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza al 95% de confianza ($P \leq 0.05$) (ANOVA). Cuando se observaron diferencias significativas se aplicó una prueba de Tukey. El programa estadístico utilizado fue Statgraphics Centurion. Las tablas de ANOVA se muestran la sección ANEXOS.

En la figura 2. se muestra gráficamente la distribución espacial de los tratamientos en campo.

Figura 2. Ubicación espacial de los tratamientos de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* en los árboles de Aguacate



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Propiedades físicas y fisicoquímicas de los frutos de Aguacate (*Persea americana* Mill.) sometidos a diferentes tratamientos de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo la evaluación de diversas características físicas y bioquímicas en frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) que fueron sometidos a diferentes tratamientos experimentales mediante la aplicación combinada en campo y poscosecha de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* para mitigar los daños causados por la antracnosis (*Colletotrichum gloesporoides*).



Figura 3. Evidencia fotográfica de aplicación de los distintos tratamientos experimentales.

Esta evaluación se realizó con la finalidad de establecer posibles relaciones entre dichas propiedades y su capacidad potencial para resistir infecciones de origen poscosecha. El interés por desarrollar este tipo de estudios radica en la necesidad de comprender de manera más profunda los factores que influyen en la susceptibilidad o resistencia del fruto ante el ataque de agentes fitopatógenos, los cuales representan una amenaza considerable para la calidad y la vida útil del producto durante su almacenamiento y comercialización. Actualmente, uno de los principales problemas que enfrentan los productores de aguacate, tanto a nivel nacional como internacional, es la pérdida significativa de calidad de los frutos, atribuida en gran medida a la acción de patógenos de importancia económica, como los pertenecientes al género *Colletotrichum*, entre los cuales destacan especies responsables de la antracnosis, una de las enfermedades más devastadoras en etapa poscosecha. La aparición de estos patógenos no solo implica pérdidas económicas severas debido a la disminución en la aceptación del fruto por parte del consumidor, sino que también representa un reto logístico y tecnológico para los sectores encargados de la distribución y exportación del aguacate.

Por lo anterior, resulta de suma importancia llevar a cabo análisis integrales que no solo se enfoquen en aspectos visibles como el tamaño, peso o apariencia externa de los frutos, sino que también consideren variables bioquímicas internas, como la concentración de compuestos fenólicos, la firmeza de la pulpa, el contenido de aceites, y otros parámetros que pudieran estar directamente relacionados con mecanismos naturales de defensa. Analizar a fondo estos factores permitirá no solamente entender mejor la fisiología del fruto frente al estrés biótico, sino también establecer posibles estrategias de manejo poscosecha que contribuyan a la reducción de las pérdidas, mejorando así la rentabilidad para los productores y la calidad final para el consumidor.

7.1.1. Tamaño de hueso, fruta y pulpa en los aguacates tratados en campo post cosecha.

Dentro del conjunto de mediciones físicas realizadas a los frutos de aguacate evaluados en el presente estudio, se obtuvieron datos relevantes en relación con el tamaño del hueso, el tamaño total de la fruta y el espesor de la pulpa, cuyos resultados se presentan de manera detallada en el Cuadro 3. Estas mediciones resultan fundamentales, ya que proporcionan

información cuantitativa que puede ser correlacionada posteriormente con otros atributos de calidad y con la resistencia del fruto a factores de estrés poscosecha. En lo que respecta al tamaño del hueso, se observó que los valores oscilaron en un rango relativamente estrecho, situándose entre 33.0 ± 0.81 milímetros y 37.96 ± 0.45 milímetros, lo cual refleja cierta uniformidad en esta característica, sin diferencias significativas entre tratamientos. Por su parte, el tamaño de la fruta, entendido como el diámetro máximo medido en la parte ecuatorial del fruto, presentó variaciones mayores, registrándose dimensiones que fluctuaron desde los 63.7 ± 0.43 milímetros hasta alcanzar los 71.5 ± 0.91 milímetros, lo cual es un indicador importante de la diversidad de respuestas de crecimiento bajo las condiciones experimentales aplicadas.

Cuadro 3. Parámetros físico-químicos (Tamaño de hueso, tamaño de fruta, tamaño de pulpa, saponinas, fenoles y pH) evaluados en los frutos de aguacate en poscosecha.

Tratamiento	Tamaño de hueso (mm)	Tamaño de fruta (mm)	Tamaño de pulpa (mm)	Saponinas (mg/g MS)	Fenoles (mg/g MS)	pH de pulpa
	$\bar{x}\pm DS$	$\bar{x}\pm DS$	$\bar{x}\pm DS$	$\bar{x}\pm DS$	$\bar{x}\pm DS$	$\bar{x}\pm DS$
A1B1 (T)	36.93±2.15a	63.70±0.43b	34.76±5.15d	0.11±0.06b	0.16±0.02c	6.6±0.05a
A1B2	33.63±2.02a	65.16±1.42c	36.76±1.85c	0.17±0.01b	0.19±0.05b	6.4±0.01c
A1B3211	34.36±1.20a	69.43±1.96b	44.60±2.60a	0.19±0.03b	0.28±0.02a	6.5±0.05a
A2B1	33.00±0.81a	65.10±2.02c	32.40±1.24e	0.18±0.02b	0.06±0.03d	6.5±0.10b
A2B2	33.63±2.02a	65.80±0.51c	36.76±1.85c	0.16±0.03b	0.10±0.02d	6.5±0.05a
A2B3	34.13±1.92a	68.80±1.31b	43.16±2.20a	0.97±0.44a	0.12±0.02d	6.4±0.01c
A3B1	36.86±4.38a	68.70±2.60b	34.86±2.43d	0.16±0.08b	0.10±0.01d	6.4±0.05c
A3B2	36.40±1.40a	71.50±0.91a	39.93±5.71b	0.14±0.06b	0.15±0.01c	6.5±0.01b
A3B3	37.96±0.45a	67.30±2.30b	35.43±4.36c	0.10±0.02b	0.09±0.03d	6.7±0.10a

(T): Testigo; MS: Materia Seca, la tabla muestra los valores promedio de cada variable \pm una desviación estándar $\bar{X}\pm SD$.

En lo que respecta al tamaño de la pulpa, una de las características más apreciadas por los consumidores debido a su relación directa con la cantidad de producto comestible, se encontró que el tratamiento identificado como A1B3 mostró el valor más alto, registrando un espesor promedio de 44.6 ± 2.6 milímetros. Este hallazgo resulta particularmente relevante

dado que el mismo tratamiento presento la menor incidencia de daño por *Colletotrichum gloesporioides* después de las aplicaciones de los tratamientos. Una mayor proporción de pulpa con relación al tamaño total del fruto suele ser interpretada como una ventaja comercial, incrementando el valor de mercado del aguacate. Además, desde el punto de vista fisiológico, la cantidad de pulpa podría también influir en la dinámica de maduración y en la respuesta del fruto ante infecciones o daños mecánicos (Barrientos-Priego *et al.*, 2016)

Es importante destacar que estas mediciones no solamente tienen un interés académico, sino que también revisten una gran importancia práctica en términos comerciales. El tamaño de la fruta, por ejemplo, continúa siendo uno de los factores de calidad más valorados tanto por consumidores finales como por intermediarios y exportadores, quienes a menudo asocian frutos de mayor tamaño con una percepción de mejor calidad, mayor contenido de pulpa y mejor presentación en el punto de venta. Sin embargo, es fundamental considerar que un mayor tamaño de fruto también implica desafíos adicionales, especialmente en lo que se refiere a su manejo poscosecha. Frutos más grandes poseen una mayor área superficial expuesta y, en consecuencia, una mayor probabilidad de sufrir daños mecánicos durante procesos como la cosecha, la clasificación, el embalaje, el transporte y *et almacenamiento* prolongado.

Diversos estudios han puesto en evidencia esta relación, entre ellos el trabajo de Jaramillo Laverde *et al.* (2023), quienes señalaron que los frutos de mayor tamaño presentan una susceptibilidad incrementada a daños físicos, lo que puede repercutir negativamente en su vida útil y en su calidad comercial final. Dichos daños no solo afectan la apariencia externa del fruto, deteriorando su valor de mercado, sino que además pueden actuar como puntos de entrada para patógenos oportunistas, exacerbando los problemas de pudriciones poscosecha. Por lo tanto, aunque la preferencia por frutos grandes se mantiene como un criterio de elección en los mercados resulta esencial equilibrar este atributo con consideraciones prácticas de resistencia al daño y vida de anaquel.

Este punto adquiere una relevancia fundamental dentro del contexto del manejo poscosecha de frutos de aguacate, ya que incluso los daños más pequeños, que muchas veces pasan desapercibidos al no ser visibles a simple vista o al no manifestarse de manera inmediata en la apariencia externa del fruto pueden representar una amenaza crítica para la integridad

fisiológica del mismo. Estos microdaños, aunque aparentemente inofensivos, abren la puerta a infecciones ocasionadas por hongos patógenos y, en algunos casos, también por bacterias oportunistas, que encuentran en estas heridas un punto de entrada ideal para colonizar los tejidos internos del fruto.

En este sentido, resulta pertinente destacar los hallazgos reportados por Tapia-Rodríguez *et al.* (2020), quienes explican que tales daños superficiales actúan como sitios de infección primaria, facilitando la penetración de agentes fitopatógenos, particularmente hongos del género *Colletotrichum*, conocidos por ser los principales causantes de enfermedades como la antracnosis en frutos de aguacate. Una vez que estos hongos logran establecerse en los tejidos internos, su dispersión dentro del huerto o durante almacenamiento puede seguir patrones de agregación, es decir, se propagan de forma concentrada a partir de los frutos inicialmente infectados. De esta manera, una única fruta que haya sufrido una lesión, por pequeña que sea, tiene el potencial de transformarse en un foco de infección activo, capaz de afectar múltiples frutos a su alrededor, generando brotes de infección que comprometen lotes enteros de producción, elevando así las pérdidas económicas y reduciendo la calidad global del producto cosechado. Aunado a ello, otros estudios relevantes en el área, como el realizado por Zamora-Magdaleno *et al.* (2001), han aportado evidencia adicional que enfatiza la gravedad de los daños mecánicos en frutos de aguacate. En su investigación, demostraron que cuando la lesión es ocasionada por fricción, un tipo de daño común durante el manejo, transporte o almacenamiento de los frutos, el aguacate no desarrolla una respuesta anatómica de defensa adecuada. Específicamente, señalaron que el fruto no logra formar una barrera física o estructural eficiente que limite la entrada y proliferación de microorganismos patógenos en la zona dañada. Esto significa que, a diferencia de otros tipos de daño donde el tejido vegetal puede generar mecanismos de contención, como el engrosamiento de la pared celular o la deposición de compuestos fenólicos antimicrobianos, en las lesiones por fricción tales respuestas defensivas no se activan eficazmente, dejando al fruto completamente expuesto a infecciones secundarias. Por todo lo anterior, se vuelve evidente que la prevención de cualquier tipo de daño físico, incluso aquellos que podrían parecer irrelevantes en una inspección visual superficial, debe ser considerada una prioridad en el manejo poscosecha de frutos de aguacate. La implementación de buenas prácticas de cosecha, el uso de materiales de embalaje adecuados que minimicen la fricción y el impacto, así como la capacitación de

los trabajadores en técnicas de manipulación cuidadosa, se presentan como estrategias indispensables para reducir la incidencia de infecciones poscosecha. De esta forma, no sólo se preserva la calidad comercial del fruto, sino que también se prolonga su vida de anaquel, se protege la inversión de los productores y se fortalece la competitividad del aguacate en los mercados nacionales e internacionales.

7.1.2. Análisis de fenoles y saponinas en la pulpa de aguacate

Por otro lado, en el marco del presente estudio, el análisis bioquímico de los frutos de aguacate sometidos a los diferentes tratamientos experimentales permitió identificar diferencias importantes y estadísticamente significativas en cuanto a la concentración de algunos metabolitos secundarios de interés, particularmente fenoles y saponinas. Estos resultados no solo aportan información valiosa sobre las características internas de los frutos, sino que también permiten establecer relaciones entre la composición bioquímica y la capacidad de resistencia frente a factores de estrés biótico, como el ataque de patógenos poscosecha.



Figura 4. Extracción de pulpa de aguacate para la determinación de fenoles y saponinas de distintos tratamientos en campo.

7.1.2.1. Fenoles totales

La determinación de fenoles totales se puede observar en la figura 3. De esta determinación específicamente, se encontró que los frutos correspondientes al tratamiento identificado como A1B3 presentaron el mayor contenido de fenoles, registrando un valor promedio de 0.28 ± 0.02 miligramos por gramo de peso fresco. Este hallazgo resulta especialmente relevante si se considera el papel fundamental que los compuestos fenólicos desempeñan en la defensa vegetal. Por otro lado, en los frutos del tratamiento A2B3 se detectó el contenido más alto de saponinas, alcanzando un valor de 0.97 ± 0.44 miligramos por gramo, lo que también representa un aspecto importante dentro de la respuesta defensiva de las plantas. Cabe mencionar que los tratamientos con menores valores de fenoles y saponinas presentaron

la menor incidencia de daño por *Colletotrichum gloesporioides* (Tabla 3) destacando los tratamientos A3B3 Y A2B1.



Figura 5. Determinación de fenoles totales en la pulpa de aguacate de los distintos tratamientos en campo, utilizando el método de solventes

Cabe destacar que tanto los fenoles como las saponinas pertenecen a la amplia categoría de metabolitos secundarios, compuestos que, aunque no participan directamente en los procesos básicos de crecimiento y desarrollo de la planta, cumplen funciones esenciales en su adaptación al medio ambiente y en la protección contra diversas amenazas bióticas y abióticas. En particular, los fenoles son ampliamente reconocidos por su potente actividad antioxidante, la cual contribuye a proteger las células del fruto frente al daño oxidativo causado por especies reactivas de oxígeno, fenómeno que suele intensificarse durante situaciones de estrés como heridas mecánicas o infecciones. Además, los fenoles tienen la capacidad de inhibir de manera directa el crecimiento de hongos y bacterias, actuando como una primera línea de defensa química contra la invasión de microorganismos patógenos. Dado lo anterior se podría inferir que en la presente investigación los tratamientos que presentaron los valores más bajos de fenoles y saponinas (A3B3 y A2B1) tuvieron un efecto protector contra el avance de los daños por *Colletotrichum gloesporioides* dado por los tratamientos.

Esta información ha sido bien documentada en la literatura científica, como lo explica Castro-Cuevas, (2024), quien señala que la acumulación de fenoles en los tejidos vegetales representa un mecanismo natural de resistencia que fortalece las barreras físicas y químicas de la planta. Así, un fruto que presenta mayores concentraciones de compuestos fenólicos no solamente posee una mayor capacidad antioxidante, que contribuye al mantenimiento de la integridad celular, sino que también dispone de una defensa química más robusta, capaz de retardar o incluso impedir la progresión de infecciones microbianas. De este modo, los resultados obtenidos en el presente trabajo sugieren que los frutos de aguacate tratados bajo las condiciones de A1B3 tendrían, en teoría, una mejor protección natural frente a patógenos poscosecha, aumentando su durabilidad y calidad durante *et almacenamiento* y comercialización.

Los fenoles son compuestos bioactivos ampliamente distribuidos en el reino vegetal, que desempeñan un papel fundamental en la defensa de las plantas frente a diversos factores de estrés, como infecciones por hongos, bacterias, insectos y condiciones ambientales adversas. En el aguacate (*Persea americana*), los fenoles contribuyen a la protección del fruto, principalmente en la cáscara y la semilla, donde actúan como una barrera química frente al

ataque de patógenos. Además, los fenoles son conocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que los hace valiosos desde un punto de vista nutracéutico. En este estudio, el contenido de fenoles totales en la pulpa de aguacate fue bajo, con valores que oscilaron entre 0.06 ± 0.03 mg/g (tratamiento A2B1, con 15 mL de *Bacillus subtilis* y sin *Trichoderma harzianum*) y 0.28 ± 0.02 mg/g (tratamiento A1B3, sin *B. subtilis* y con 22.5 mL de *T. harzianum*). Esta baja concentración puede explicarse considerando la efectividad de los tratamientos biológicos aplicados para reducir la incidencia de antracnosis. Al aplicar *B. subtilis* y *T. harzianum*, especialmente en combinaciones como A3B3 (22.5 mL de *B. subtilis* + 22.5 mL de *T. harzianum*), los frutos estuvieron menos expuestos al ataque del hongo *Colletotrichum*, principal causante de la antracnosis. Como resultado, la planta no activó fuertemente sus mecanismos de defensa, lo que explica la baja producción de fenoles en la pulpa. Estos resultados son coherentes con lo reportado en la literatura, donde los fenoles se concentran principalmente en la cáscara y la semilla. Por ejemplo, Lyu *et al.* (2023) reportaron concentraciones de 77.85 mg GAE/g en la cáscara de aguacate Hass, mientras que Rahman *et al.* (2022) encontraron 21.83 ± 0.12 mg/100 g en cáscara extraída con metanol, valores que son significativamente superiores a los obtenidos en este estudio. Además, los métodos de extracción utilizados en estos trabajos, como la maceración con solventes o el CO₂ supercrítico (Kupnik *et al.*, 2023), permiten obtener extractos más concentrados, mientras que en este estudio se analizó la pulpa fresca directamente (Bautista-Baños., *et al.*, 2003). En conclusión, la baja concentración de fenoles en la pulpa sugiere que los tratamientos con bioestimulantes fueron efectivos para proteger al fruto frente a la antracnosis, reduciendo la necesidad de la planta de producir estos compuestos de defensa.

7.1.2.2. Saponinas totales

Las saponinas son un grupo de metabolitos secundarios que desempeñan un papel importante en la defensa de las plantas frente a agentes patógenos. Estas moléculas están formadas por una parte no polar (aglicona) y una parte polar (glúcidos), lo que les confiere propiedades tensioactivas capaces de alterar la estructura de las membranas celulares de microorganismos como hongos y bacterias. En el aguacate (*Persea americana*), las saponinas se concentran principalmente en la cáscara y pulpa, donde contribuyen a proteger al fruto de infecciones y daños durante su desarrollo. La determinación de saponinas se observa en la figura 4. En este

estudio, se observó que los contenidos de saponinas en la pulpa fueron bajos en general, con valores que oscilaron entre 0.10 ± 0.02 mg/g (A3B3, 22.5 mL de *Bacillus subtilis* + 22.5 mL de *Trichoderma harzianum*) y 0.97 ± 0.44 mg/g (A2B3, 15 mL de *B. subtilis* + 22.5 mL de *T. harzianum*). Cabe destacar que el tratamiento A2B3 registró la mayor concentración de saponinas, lo cual podría estar relacionado con una respuesta puntual de la planta a una combinación específica de microorganismos o condiciones fisiológicas del fruto. Sin embargo, en general, estos valores son considerablemente más bajos que los reportados en la literatura para la cáscara de aguacate, donde Rahman *et al.* (2022) encontraron 8.87% de saponinas (equivalente a 88.7 mg/g). Está marcada diferencia confirma que la pulpa del aguacate no es el principal tejido de acumulación de estos compuestos. La baja concentración de saponinas en este estudio puede explicarse, al igual que con los fenoles, por la eficacia de los tratamientos biológicos en el control de la antracnosis. Al proteger al fruto del ataque del hongo *Colletotrichum*, los tratamientos, en particular A3B3, redujeron la necesidad de la planta de activar sus mecanismos de defensa, como la producción de saponinas. Por su parte, las saponinas, cuya mayor concentración se registró en el tratamiento A2B3, son un grupo de compuestos bioactivos de gran importancia, ya que poseen propiedades antifúngicas y antibacterianas, y su modo de acción implica, entre otros mecanismos, la alteración de las membranas celulares de los microorganismos, provocando la pérdida de su integridad estructural y, finalmente, su muerte. Aunque el contenido de saponinas en los frutos de aguacate no ha sido tradicionalmente tan valorado como el de los fenoles, su presencia también representa una ventaja adicional en términos de resistencia natural frente a infecciones, ya que estos compuestos dificultan la proliferación de patógenos al comprometer sus membranas celulares. Es decir, tener altos niveles de fenoles y saponinas podría darle al fruto una ventaja importante para resistir infecciones durante su almacenamiento y comercialización. En este caso, los bajos niveles encontrados en la pulpa reflejan que, al no haber una presión significativa de patógenos como la antracnosis, la planta no tuvo la necesidad de producirlos en grandes cantidades.



Figura 6. Determinación de Saponinas totales en la pulpa de aguacate de los distintos tratamientos en campo, utilizando el método de solventes

7.1.3. pH de la pulpa de aguacate

En lo que respecta al pH de la pulpa de los frutos de aguacate evaluados en este estudio, se observó que los valores registrados se mantuvieron dentro de un rango bastante estrecho, comprendido entre 6.4 y 6.7. Aunque a primera vista esta variabilidad podría parecer mínima, es importante subrayar que este dato bioquímico no debe ser subestimado en el análisis de las condiciones internas del fruto, ya que el pH constituye un factor crucial que puede influir de manera significativa en diversos aspectos relacionados con la calidad, la estabilidad y la sanidad del producto durante su almacenamiento y comercialización.

El pH interno de los tejidos vegetales, particularmente de la pulpa en frutos comestibles, desempeña un papel determinante en la regulación de numerosos procesos fisiológicos y bioquímicos. Entre ellos destaca la estabilidad de los antioxidantes naturales presentes en el fruto, los cuales son fundamentales para proteger las células de los efectos dañinos de las especies reactivas de oxígeno, especialmente durante los periodos de estrés poscosecha. Como bien lo mencionan Laverde *et al.* (2023), mantener un pH dentro de este rango moderadamente ácido, ni demasiado bajo ni excesivamente alcalino, favorece la preservación de la actividad de estos antioxidantes naturales, asegurando que puedan ejercer su función protectora de manera eficiente a lo largo del tiempo.

Desde un punto de vista bioquímico, cuando el pH del tejido de la pulpa se mantiene en niveles cercanos a la neutralidad ligeramente ácida, como los observados en este estudio, se propicia un ambiente interno más estable, menos propenso a la degradación prematura de compuestos fenólicos, flavonoides y otros metabolitos antioxidantes. Esta estabilidad química no solo ayuda a retardar el envejecimiento celular del fruto, sino que también constituye una barrera indirecta contra el ataque de microorganismos patógenos, muchos de los cuales tienen rangos óptimos de crecimiento en condiciones de pH más extremos. En este sentido, ciertos hongos fitopatógenos, como los del género *Colletotrichum* y otros relacionados con la podredumbre de frutos, tienden a prosperar en ambientes donde el pH es considerablemente más bajo (mayor acidez) o, en algunos casos, en condiciones más alcalinas que las que ofrece un fruto sano. De esta manera, un pH equilibrado actúa como un factor de protección adicional, dificultando el establecimiento y la proliferación de estos agentes infecciosos en los tejidos del fruto Laverde *et al.* (2023),

Por otra parte, un pH adecuado también impacta en atributos sensoriales del fruto, como el sabor, la textura y la aceptabilidad por parte del consumidor. Aunque este aspecto no fue el enfoque principal de este trabajo, es importante tenerlo en consideración en investigaciones futuras, ya que el pH puede incidir en la percepción de frescura y calidad organoléptica del aguacate.

Dado lo anterior, el mantenimiento del pH de la pulpa dentro del rango de 6.4 a 6.7, como se registró en los frutos analizados, no solo constituye un indicador de estabilidad bioquímica favorable, sino que también representa una ventaja desde el punto de vista de la defensa natural contra procesos de oxidación y contra la invasión de hongos patógenos. Este dato reafirma la importancia de considerar variables bioquímicas internas en el estudio de la calidad poscosecha de frutos, y abre la puerta a futuras estrategias de manejo que busquen optimizar estos parámetros para extender la vida útil y preservar la calidad del aguacate durante su comercialización.

Cabe mencionar que, en los últimos años, los avances en las técnicas de identificación molecular y taxonomía de hongos han permitido descubrir información mucho más precisa y detallada sobre los agentes causales de enfermedades poscosecha en diversos cultivos, incluido el aguacate (*Persea americana* Mill.). Tradicionalmente, la antracnosis en frutos de aguacate había sido atribuida de manera generalizada a la acción de *Colletotrichum gloeosporioides*, especie ampliamente reconocida y reportada en la literatura fitopatológica como el principal patógeno responsable de la aparición de lesiones necróticas características en los frutos. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que la situación es mucho más compleja de lo que inicialmente se pensaba.

En este sentido, estudios como el realizado por Fuentes-Aragón *et al.* (2020) han revelado que la antracnosis en aguacate no es provocada exclusivamente por *C. gloeosporioides*, sino que puede ser causada por un conjunto diverso de especies dentro del complejo *Colletotrichum*. A través de análisis genéticos avanzados, como la secuenciación de genes específicos y el uso de técnicas multilocus, estos investigadores lograron identificar la participación de otras especies como *Colletotrichum siamense*, *Colletotrichum jiangxiense*, *Colletotrichum chrysophilum* y *Colletotrichum tropicale* en la etiología de la enfermedad.

Este hallazgo tiene implicaciones sumamente importantes para la comprensión, prevención y manejo de la antracnosis en sistemas productivos de aguacate.

La identificación de múltiples especies implicadas en la enfermedad complica de manera significativa las estrategias de control y manejo integrado, ya que no todas las especies de *Colletotrichum* responden de la misma manera a los tratamientos tradicionalmente utilizados. Existen variaciones en la sensibilidad de estas especies a fungicidas, en su comportamiento epidemiológico, en la agresividad de las infecciones que producen y en su capacidad para sobrevivir en el ambiente o en restos de cosecha. Así, un tratamiento que resulta efectivo contra *C. gloeosporioides* podría no ser igualmente eficiente contra *C. tropicale* o *C. siamense*, generando desafíos adicionales para los productores y técnicos encargados de implementar programas fitosanitarios.

Además, la coexistencia de diferentes especies en un mismo huerto o lote de producción puede favorecer la aparición de infecciones mixtas o simultáneas, complicando aún más el diagnóstico preciso y la elección de los métodos de control más adecuados. De igual forma, la diversidad genética entre las especies de *Colletotrichum* puede facilitar la aparición de cepas resistentes a fungicidas, especialmente cuando se aplican tratamientos de manera repetitiva y sin una rotación adecuada de modos de acción, lo que representa un riesgo importante para la sostenibilidad del manejo de la enfermedad.

Actualmente, es muy importante conocer bien la diversidad de especies de *Colletotrichum* que causan antracnosis en aguacate. Antes se pensaba que todo era por *Colletotrichum Gloeosporioides*, pero ahora se sabe que hay más especies involucradas. Tener esta información actualizada ayuda mucho para diseñar mejores estrategias de manejo, ya que permite hacer prácticas más específicas, como mejorar la poda, usar fungicidas de manera más cuidadosa, trabajar en variedades de aguacate que sean más resistentes y buscar otras alternativas como los métodos biológicos. Si no se sabe bien qué especie es la que está causando el problema, se corre el riesgo de aplicar tratamientos que no funcionen, lo cual puede empeorar la situación.

Un ejemplo de la importancia de esto son los resultados que publicaron Fuentes-Aragón *et al.* (2020), quienes encontraron que varias especies como *C. siamense*, *C. jiangxiense*, *C. chrysophilum* y *C. tropicale* también causan antracnosis en aguacate. Esto demuestra que no

se puede generalizar y que es necesario hacer diagnósticos más precisos antes de aplicar cualquier control. Además, Bustamante *et al.* (2022) encontraron en Chile que *Colletotrichum anthrisci*, que normalmente no se había visto en aguacate, también puede causar la enfermedad. Esto indica que los hongos patógenos pueden adaptarse a nuevos hospederos, posiblemente porque el cambio climático está alterando las condiciones ambientales y favoreciendo que nuevos patógenos aparezcan o se adapten.

En cuanto a cómo ocurre la infección, Rodríguez-López *et al.* (2009) explicaron que los hongos de *Colletotrichum* forman una estructura especial llamada apresorio. Esta estructura genera una presión muy fuerte que le permite al hongo romper la piel del fruto y entrar. Ya adentro, el hongo cambia su comportamiento y empieza a producir enzimas como las poligalacturonasas, que destruyen las paredes celulares del fruto y facilitan la expansión de la infección. Este proceso depende mucho de las condiciones internas del fruto, como el pH y su capacidad antioxidante. Si el fruto tiene buenas defensas, puede resistir mejor y retrasar el avance del hongo.

Debido a los problemas que genera el uso constante de fungicidas, se ha buscado mucho el uso de alternativas biológicas. Una de las más estudiadas es el uso de bacterias como *Bacillus subtilis*. Muñoz Alvarado, (2023) encontró que esta bacteria puede inhibir completamente el crecimiento de *Colletotrichum* en condiciones de laboratorio, y Falconí *et al.* (2022) también demostraron su efectividad, pero ahora en condiciones de campo. *Bacillus subtilis* actúa de varias maneras: produce sustancias antifúngicas que atacan al hongo, compite por los nutrientes y el espacio, y además ayuda a que el fruto active sus propias defensas naturales.

Siguiendo con la búsqueda de alternativas más amigables para controlar las enfermedades en aguacate, también se han investigado otros microorganismos benéficos. Por ejemplo, Wanjiku *et al.* (2021) demostraron que especies de *Trichoderma*, como *T. atroviride* y *T. harzianum*, son muy efectivas para reducir las enfermedades después de la cosecha. Estos hongos benéficos funcionan atacando directamente a los patógenos o compitiendo con ellos, además de que pueden estimular las defensas naturales del fruto, parecido a lo que hace *Bacillus subtilis*. Esto es muy importante porque, como ya se había mencionado, el uso de alternativas biológicas ayuda a evitar el abuso de fungicidas químicos y puede ser más seguro para el medio ambiente y para los consumidores.

Además de los microorganismos, se están proponiendo nuevas tecnologías que también ayudan a proteger los frutos sin necesidad de usar productos químicos agresivos. (Durán-Peralta *et al.*, 2017, hablaron sobre el uso de recubrimientos comestibles que pueden contener aceites esenciales o incluso microorganismos benéficos. Estos recubrimientos funcionan como una barrera física que protege al fruto de infecciones y, al mismo tiempo, pueden liberar sustancias que inhiben a los hongos. Esta tecnología se ve muy prometedora porque puede alargar la vida de anaquel del aguacate, reducir pérdidas poscosecha y ofrecer un producto más seguro y natural para el consumidor (Bill *et al.*, 2014).

Así, tanto el uso de microorganismos como *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp., como el desarrollo de recubrimientos comestibles, forman parte de una estrategia más amplia para enfrentar los problemas que causan hongos como *Colletotrichum* en aguacate, buscando soluciones más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Considerando todo lo anterior, se puede decir que proteger los frutos de aguacate después de la cosecha requiere de varias estrategias combinadas (Bill *et al.*, 2014). No basta con que el fruto sea grande o de buen sabor, también debe tener una estructura firme, un pH adecuado y suficiente contenido de compuestos bioactivos. Además, es muy importante manejar los frutos con cuidado para evitar daños que favorezcan las infecciones. Como se explicó antes, el uso de microorganismos benéficos como *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp. representa una alternativa prometedora para reducir enfermedades poscosecha, aunque todavía falta seguir investigando para aplicarlos mejor en campo. También es importante recordar que los patógenos como *Colletotrichum* cambian constantemente, lo que obliga a actualizar las estrategias de manejo.

7.1.4. Color de la pulpa de Aguacate

En este trabajo también se evaluaron las características de color de los frutos, específicamente midiendo el color de la pulpa utilizando la técnica de colorimetría CIELab. Esta técnica es ampliamente utilizada para medir de manera objetiva los colores de las superficies, y es especialmente útil en productos alimenticios debido a su precisión y estandarización internacional. El sistema CIELab permite obtener tres parámetros principales: L*, que indica la luminosidad o el grado de claridad u oscuridad del color; a*, que mide la tendencia del color hacia el verde (valores negativos) o hacia el rojo (valores positivos); y b*, que mide la

tendencia hacia el azul (valores negativos) o hacia el amarillo (valores positivos). Estos parámetros son fundamentales porque el color es una de las primeras características que los consumidores perciben en los frutos, y muchas veces define su aceptación o rechazo. Además, el color en la pulpa puede ser un indicador del estado de madurez, de la calidad interna y de posibles alteraciones fisiológicas o daños poscosecha.

En el Cuadro 4 se pueden observar los resultados. En lo que respecta al parámetro L*, que representa la luminosidad de la pulpa, se observaron variaciones interesantes entre los diferentes tratamientos. El tratamiento A2B1 presentó el valor más alto de L*, con 58.38 ± 5.33 , lo que indica que esos frutos tenían una pulpa más clara o brillante en comparación con los demás. También los tratamientos A3B1 y A3B2 mostraron valores altos de luminosidad, con 56.92 ± 0.32 y 53.95 ± 0.69 respectivamente. En cambio, los tratamientos A1B2, A1B3 y A3B3 mostraron los valores más bajos, con 37.93 ± 0.11 , 40.73 ± 0.44 y 40.01 ± 0.53 , respectivamente, lo que sugiere que la pulpa de estos frutos era más oscura. Esta variabilidad puede deberse a factores como el grado de madurez, el tratamiento recibido, o incluso a diferencias en la composición interna de pigmentos.

Cuadro 4. Medias de color CIELab de la pulpa de aguacate

Tratamiento	L*	a*	b*
	$\bar{x} \pm DS$	$\bar{x} \pm DS$	$\bar{x} \pm DS$
A1B1 (T)	$44.37 \pm 16.36c$	$-9.17 \pm 0.10d$	$43.77 \pm 1.40b$
A1B2	$37.93 \pm 0.11c$	$-8.34 \pm 0.02c$	$42.86 \pm 0.22c$
A1B3	$40.73 \pm 0.44c$	$-6.28 \pm 0.02a$	$43.96 \pm 0.49b$
A2B1	58.38 ± 5.33^a	$-5.95 \pm 0.16a$	$40.07 \pm 1.68d$
A2B2	$48.65 \pm 1.67c$	$-6.81 \pm 0.06b$	$39.77 \pm 0.15d$
A2B3	$40.24 \pm 7.00c$	$-8.68 \pm 0.33c$	$42.69 \pm 0.49c$
A3B1	$56.92 \pm 0.32b$	$-7.19 \pm 0.04b$	$39.05 \pm 0.16d$
A3B2	$53.95 \pm 0.69b$	$-9.26 \pm 0.05d$	$41.28 \pm 0.01c$
A3B3	$40.01 \pm 0.53c$	$-9.36 \pm 0.17d$	$46.07 \pm 0.22a$

(T): Testigo

L*: Indica la luminosidad del color, en

un rango de 0 a 100.

a*: Representa el eje verde-rojo.

b*: Representa el eje azul-amarillo.

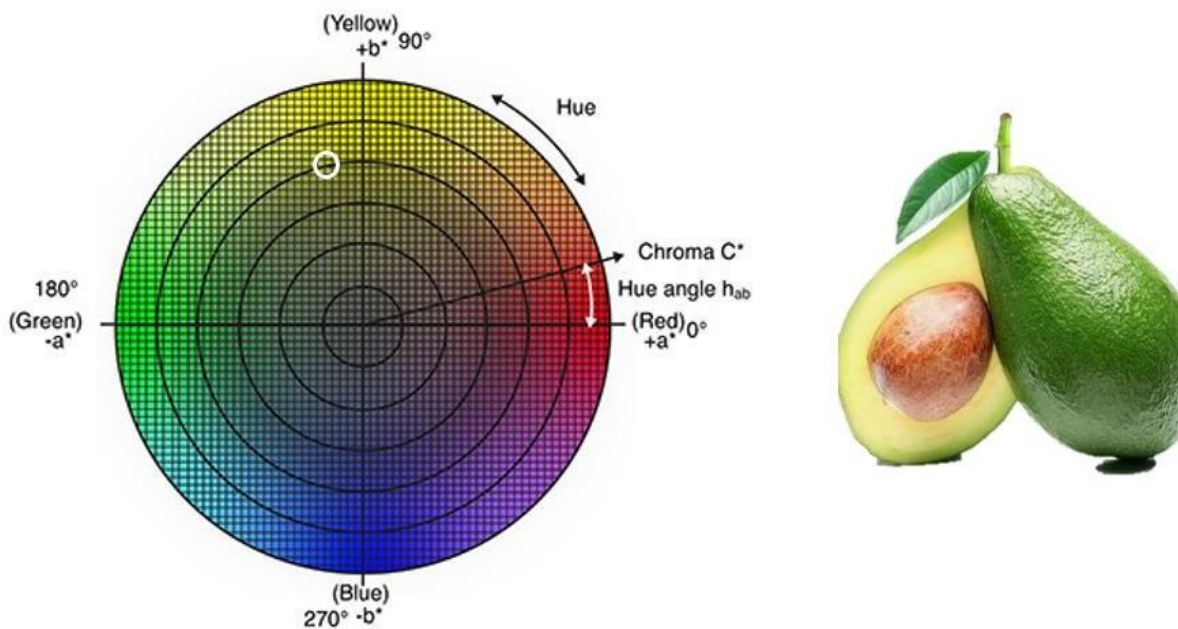


figura 7. Identificación de parámetros de color CIELab de la pulpa de aguacate.

Respecto al valor de a^* , que en este caso mide la tendencia de la pulpa hacia tonos verdes o rojos, se observó que todos los frutos mostraron valores negativos. Esto significa que el color de la pulpa se mantuvo en la gama de verdes, algo que es esperado en frutos de aguacate que aún no han alcanzado un estado de madurez excesivo. El tratamiento A2B1 presentó el valor menos negativo de a^* , con -5.95 ± 0.16 , lo que podría indicar una ligera pérdida de verdor respecto a otros tratamientos. Por otro lado, los tratamientos A3B2 y A3B3 presentaron los valores más negativos (-9.26 ± 0.005 y -9.36 ± 0.17 respectivamente), lo que sugiere que la pulpa de estos frutos conservaba un verdor más intenso. Estos resultados podrían estar relacionados con las condiciones de maduración y el tipo de manejo poscosecha aplicado.

En cuanto al parámetro b^* , que mide la tendencia de la pulpa hacia el amarillo o el azul, todos los frutos evaluados mostraron valores positivos, indicando una inclinación general hacia tonalidades amarillas en la pulpa. El tratamiento A3B3 fue el que mostró el valor más alto en b^* , con 46.07 ± 0.22 , lo cual sugiere una mayor intensidad de color amarillo en la pulpa de

estos frutos. En general, los valores de b^* oscilaron entre 39.05 ± 0.16 y 46.07 ± 0.22 , lo que refleja una variabilidad que puede estar asociada a la degradación de clorofilas y a la acumulación de carotenoides, fenómenos típicos durante la maduración de los frutos.

Cuando se analizan los tres parámetros en conjunto, se observa que los tratamientos con pulpa más luminosa (mayores valores de L^*) tienden a presentar valores de a^* menos negativos, es decir, un color verde menos intenso, y en algunos casos, valores de b^* relativamente altos, lo que sugiere una transición hacia tonos más amarillentos. Esta tendencia podría reflejar procesos normales de maduración en los cuales la degradación de la clorofila y el aumento de carotenoides dan como resultado una pulpa de color más claro y amarillo, características que son bien percibidas por los consumidores y que pueden influir en su preferencia de compra.

Cabe destacar que el color de la pulpa también puede ser afectado por daños mecánicos o por infecciones fúngicas. En casos donde los frutos presentan daño, es posible observar oscurecimiento, aparición de manchas o cambios en la intensidad del color, lo cual se reflejaría en variaciones en los valores de L^* , a^* y b^* . Estudios como los realizados por Muñoz Alvarado, (2023) y Falconí *et al.* (2022) han reportado que la aplicación de agentes de biocontrol como *Bacillus subtilis* puede ayudar a mantener el color de la pulpa en mejores condiciones durante el almacenamiento. De manera similar, Wanjiku *et al.* (2021) encontraron que *Trichoderma atroviride* contribuye a reducir las pérdidas por pudriciones, lo cual se traduce en una mejor apariencia del fruto.

Asimismo, las estrategias propuestas por (Durán-Peralta *et al.*, 2017, como el uso de recubrimientos comestibles enriquecidos con aceites esenciales, pueden ofrecer una protección adicional al limitar la oxidación y la descomposición de los pigmentos. Esto resulta particularmente relevante si se busca mantener el color de la pulpa atractivo por más tiempo, especialmente en frutos destinados a mercados de exportación donde los estándares de calidad visual son muy exigentes.

De manera general, los resultados de colorimetría CIELab obtenidos específicamente en la pulpa de los frutos permiten entender mejor cómo los tratamientos contra la antracnosis *Colletotrichum Gloeosporioides* y las condiciones poscosecha afectan parámetros clave que determinan la calidad del aguacate. La pulpa más luminosa, con tonos de verde menos

intensos y matices más amarillos, podría estar indicando un estadio de maduración adecuado para su consumo inmediato, mientras que pulpas más oscuras y verdes podrían representar frutos con mayor firmeza o con potencial para ser almacenados por más tiempo antes de su venta. Estas mediciones objetivas complementan los análisis físicos y bioquímicos, ayudando a construir una imagen integral del estado del fruto y proporcionando herramientas valiosas para optimizar su manejo poscosecha.

VIII. CONCLUSIONES

La aplicación combinada de *Bacillus subtilis* cepa LALBs1 y *Trichoderma harzianum* BMH 19 demostró ser una estrategia biotecnológica eficaz para el control del avance del daño provocado por la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en frutos de aguacate en postcosecha (*Persea americana* Mill.), permitiendo preservar significativamente los parámetros fisicoquímicos durante la etapa de poscosecha y mejorando la calidad comercial del fruto.

Los tratamientos biológicos aplicados en campo y poscosecha incidieron positivamente en la conservación de características como el pH, acidez, color, y tamaño del fruto, así como en el contenido de compuestos bioactivos como fenoles y saponinas, lo cual sugiere una activación de mecanismos de defensa inducidos por los microorganismos benéficos y una mejora en la estabilidad fisiológica del aguacate durante su maduración.

El uso de agentes de biocontrol como alternativa al manejo químico convencional representa una solución sustentable para reducir las pérdidas poscosecha por enfermedades, disminuir la exposición a residuos tóxicos y promover una producción agroalimentaria más segura, ecológica y competitiva en el contexto del mercado de exportación.

Los resultados obtenidos en esta investigación aportan evidencia sólida para impulsar la adopción de prácticas agrícolas sostenibles basadas en el uso de microorganismos benéficos, con impacto directo en la rentabilidad del productor, la inocuidad del alimento y la conservación del medio ambiente, lo que refuerza la viabilidad del control biológico como

pilar de la agricultura del futuro. Finalmente, derivado de los resultados del presente trabajo de tesis se recomienda realizar tres aplicaciones precosecha dos semanas antes del corte, en vez de solo dos y continuar con solo una aplicación postcosecha, para maximizar el efecto positivo de los tratamientos sobre las variables estudiadas, para ello se recomendaría aplicar el tratamiento A1B3 dado que obtuvo los mejores valores de los parámetros estudiados.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Castillo, E. R. (2023). Manual de manejo poscosecha de aguacate. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).
- Ali, R. A., Najeeb, S., Hussain, S., Xie, B., y Li, Y. (2020). Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, 8(6), 817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>
- Alkan, N., Davydov, O., Sagi, M., Fluhr, R., y Prusky, D. (2009). Ammonium secretion by *Colletotrichum Gloeosporioides* modulates pH to induce pathogenicity in avocado fruit. *Phytopathology*, 99(9), 1009–1016.
- Alozie Osondu, H. A., Akinola, S. A., Shoko, T., y Sivakumar, D. (2022). Phenolic compounds suppress anthracnose decay by enhancing antifungal properties and biochemical defence responses in avocado fruit. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 577–588. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01085-3>
- Álvarez-Bravo, A., y Salazar-García, S. (2017). Las condiciones ambientales determinan la rugosidad de la piel del fruto de aguacate 'Hass'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4063-4073.
- Asociación de Productores y Exportadores de Aguacate de México (APEAM). 2020. Listado De plaguicidas autorizados para el cultivo del aguacate. En línea: <http://www.apeamac.com/eventos/>. Fecha de consulta: 17 de julio de 2020.

- Armand, A., Hyde, K. D., y Jayawardena, R. S. (2023). First report of *Colletotrichum fructicola* causing fruit rot and leaf-tip dieback on pineapple in northern Thailand. *Plants*, 12(4), 971.
- Arpaia, M. L., Van Rooyen, Z., Bower, J. P., Hofman, P. J., y Woolf, A. B. (2004). Grower practices will influence postharvest fruit quality. En 2° *Seminario Internacional de Paltos* (pp. 1–15). Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda.
- Ávila-Quezada, G. D., Téliz-Ortiz, D., Hernández, D. G., Huerta, H. V., Chávez, H. T., Naime, L. J., y Guzmán, R. M. 2002. Dinámica espacio-temporal de la roña (*Elsinoe perseae*), el daño asociado a trips y antracnosis (*Glomerella cingulata*) del aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología (México)* 20 (1): 77-87.
- Bañuelos-González, M. C., Cuéllar-Torres, E. A., López-García, U. M., Montalvo-González, E., Ortiz-Basurto, R. I., Aguilera-Aguirre, S., y Chacón-López, A. (2023). Induced defense in avocado fruits mediated by secondary metabolites produced by *Bacillus atrophaeus* B5. *Horticulturae*, 9(6), 714.
- Barrientos-Priego, A. F., Martínez-Damián, M. T., Vargas-Madríz, H., and Lázaro-Dzul, M. O. 2016. Effect of preharvest calcium spraying on ripening and chilling injury in 'Hass' (*Persea americana* Mill.) avocado. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 22(3), 145-159.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., and Wilson, C. L. 2003. Effect of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum Gloeosporioides* anthracnose level and quality of papaya fruit. *Crop Protection*. 22:1087-1092.
- Benítez, J., Sánchez, A., Bolaños, C., Bernal, L., Ochoa-Martínez, C., Vélez, C., y Sandoval, A. (2021). Cambios fisicoquímicos del aguacate *Hass* durante el almacenamiento frío y la maduración acelerada. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 41–56. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1490>
- Bernal-Estrada, J., Vázquez-Gallo, L., and Valenzuela, C. 2020. Fenología del aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia, Colombia. In *Memorias del V Congreso Latinoamericano del*

Aguacate (pp. 04-07).

- Bill, M., Sivakumar, D., Korsten, L., and Thompson, A. K. 2014. The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Protection*, 64, 159-167.
- Bozoglu, T., Türkkan, M., Özer, G., Güney, İ. G., y Dervis, S. (2024). First report of *Colletotrichum perseae* causing anthracnose disease of avocado (*Persea americana*) in Türkiye. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 134(10), 102454. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102454>
- Bustamante, M. I., Osorio-Navarro, C., Fernández, Y., Bourret, T. B., Zamorano, A., y Henríquez-Sáez, J. L. (2022). First record of *Colletotrichum anthrisci* causing anthracnose on avocado fruits in Chile. *Pathogens*, 11(10), 1204. <https://doi.org/10.3390/pathogens11101204>
- Campos-Martínez, A., Velázquez-del Valle, M.G., Flores-Moctezuma: H.E., Suárez-Rodríguez, R., Ramírez Trujillo, J.A. y Hernández-Lauzardo., A.N. 2016. Antagonistic yeasts with potential to control *Colletotrichum Gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. and *Colletotrichum acutatum* JH Simmonds on avocado fruits. *Crop Protection*, 89, 101-104.
- Carvalho, C. P., Velásquez, M. A., y Van Rooyen, Z. 2015. Porcentaje mínimo de materia seca para una cosecha adecuada del aguacate cv. Hass en Colombia. In VIII World Avocado Congress (pp. 13-18).
- Cerdas Araya, M. del M., Montero Calderón, M., y Díaz Cordero, E. (2006). *Manual de manejo pre y poscosecha de aguacate (Persea americana)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Universidad de Costa Rica, Consejo Nacional de Producción, Fundación Fittacori.
- Chamarro-Anaya, L., Barboza-García, A., Baldiris-Avila, R., Buelvas-Montes, Y., y Montes-Robledo, A. (2025). Utilizing *Trichoderma* spp. as an alternative for plant growth promotion and control of anthracnose in avocado crops. *Asian Journal of Mycology*, 8(1), 129–140. <https://doi.org/10.5943/ajom/8/1/9>

- Chandler, D., Davidson, G., Grant, W. P., Greaves, J., and Tatchell, G. M. 2008. Microbial biopesticides for integrated crop management: an assessment of environmental and regulatory sustainability. *Trends in Food Science y Technology*, 19(5), 275-283.
- Chen, H., Ma, Y., Zhang, W. F., Ma, T., and Wu, H. X. 2015. Molecular phylogeny of *Colletotrichum* (Sordariomycetes: Glomerellaceae) inferred from multiple gene sequences. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 13649-13662.
- Chen, M., *et al.* (2025). Bacterial cyclic lipopeptides as triggers of plant immunity and systemic resistance against pathogens. *Plants*, 14(17), 2644. <https://doi.org/10.3390/plants14172644>
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Martínez-Téllez, M. Á., Avelino-Ramírez, C., Gallegos-Santoyo, N. L., y Miranda-Ackerman, M. A. (2024). Control of anthracnose (*Colletotrichum Gloeosporioides*) growth in “Hass” avocado fruit using sachets filled with oregano oil-starch-capsules. *Future Foods*, 10, 100394.
- Colletotrichum acutatum* and *Guignardia citricarpa*. *Summa Phytopathologica*, 36(3), 195-202.
- Contreras, M. G., Lara-Chávez, M. B. N., Andrade, H. G., y Bárcenas, A. T. C. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 35(9), 647- 653.
- Correa-Pacheco, Z. N., Ventura-Aguilar, R. I., Zavaleta-Avejar, L., Barrera-Necha, L. L., Hernández-López, M., y Bautista-Baños, S. (2022). Anthracnose disease control and postharvest quality of Hass avocado stored in biobased PLA/PBAT/pine essential oil/chitosan active packaging nets. *Plants*, 11(17), 2278.
- Cuéllar-Torres, E. A., Aguilera-Aguirre, S., Bañuelos-González, M. del C., Xoca-Orozco, L. Á., Ortiz-Basurto, R. I., Montalvo-González, E., Vega-Arreguín, J., y Chacón-López, M. A. (2022). Postharvest application effect of agave fructans on anthracnose disease, defense-related enzyme activities, and quality attributes in avocado fruit. *Food Science and Biotechnology*, 31(10), 1411–1421. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01135-7>

- Da Silva, C. D. F. B., and Michereff, S. J. (2014). Biology of *Colletotrichum spp.* and epidemiology of the anthracnose in tropical fruit trees. *Revista Caatinga*, 26(4), 130-138.
- Damm, U., Cannon, P. F., Woudenberg, J. H. C., and Crous, P. W. 2012. The *Colletotrichum acutatum* species complex. *Studies in mycology*, 73, 37-113.
- Dobrowolski, M. P., Shearer, B. L., Colquhoun, I. J., O'brien, P. A., and Hardy, G. S. 2008. Selection for decreased sensitivity to phosphite in *Phytophthora cinnamomi* with prolonged use of fungicide. *Plant pathology*, 57(5), 928-936.
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28(1), 33-46.
- Dreher, M. L., and Davenport, A. J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(7), 738-750.
- Drori, N., Kramer, H., Haimovch, Rollins, J., Dinoor, A., Ocoton Y., Pines, O., and Prusky, D. 2003. External pH and nitrogen source affect secretion of pectate lyase by *Colletotrichum Gloeosporioides*. *Applied and Enviromental Microbiology* 69:3258–3262.
- Durán-Peralta, E., Téliz-Ortíz, D., Pedraza-Sandoval, A., Mora-Aguilera, A. Ávilla-Quezada, G.D., y González-Hernández, H. 2017. Modelo de pronóstico para el control de la antracnosis del aguacate en Michoacán, México. Tesis de Doctorado. Colegio Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Fitosanidad, Programa de Fitopatología.
- Escobar, J. V., Rodríguez, P., Cortés, M., y Correa, G. 2019. Influencia de la materia seca como índice de madurez de cosecha y tiempo de almacenamiento en frío sobre la calidad del aguacate cv. Hass producido en la región del trópico alto. *Información tecnológica*, 30(3), 199-210.
- Everett, K. R., Owen, S. G., and Cutting, J. G. M. 2005. Testing efficacy of fungicides against postharvest pathogens of avocado (*Persea americana* cv Hass). *New Zealand Plant Protection*, 58, 89-95.

- Falconí, C. E., Yáñez-Mendizábal, V., y Claudio, D. R. (2022). Native *Bacillus subtilis* strains efficiently control *lupin anthracnose* both under greenhouse and in field conditions. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(6), 2637–2644. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.6.17169>
- Flores, N. R., Veloz, C. S., Osorio, C. G., y Reyes, D. S. 2016. Producción de etileno y cambios asociados a la maduración de frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Carmen Hass’. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 17(1), 24-29.
- Franco Sánchez, M. A., Leos Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., Acosta Ramos, M., y García Munguía, A. 2018. Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 391-403.
- Fuentes-Aragón, G., Pinnaka, A. K., y Shenoy, B. D. (2020). Diversity and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with avocado (*Persea americana*) anthracnose in Mexico. *Plant Pathology*, 8, 1521–1534. <https://doi.org/10.1111/ppa.13234>
- G. 2011. Image processing applied to classification of avocado variety Hass (*Persea americana* Mill.) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1307-1313.
- Gallardo-Camarena, M. V., Reverchon, F., Méndez-Bravo, A., Torres-Acosta, M. A., y Licona-Cassani, C. (2025). Control of avocado anthracnose by carposphere-associated *Kosakonia cowanii* VG1 for agricultural applications. *AMB Express*, 15(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s13568-025-01894-6>
- García, C. C., y Gómez, G. A. (2024). Informe exportaciones de aguacate hass 2024. Dirección de Asuntos Económicos, Analdex. Fuente: Legiscomex
- García-Martínez, R., Cortés-Flores, J. I., López-Jiménez, A., Etchevers-Barra, J. D., Carrillo-Salazar, J. A., y Saucedo-Veloz, C. (2021). Rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ de huertos con diferente fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 205–215. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2685>

- González Cuello, R. (2017). Incremento en la vida útil del aguacate mediante condiciones de almacenamiento. *Revista Colombiana de Agricultura*, 12(1), 55–63. https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262017000100012&script=sci_arttext
- González-Gutiérrez, K. N., Ragazzo-Sánchez, J. A., y Calderón-Santoyo, M. (2024). Field and postharvest application of microencapsulated *Yamadazyma mexicana* LPa14: Anthracnose control and effect on postharvest quality in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass). *Pest Management Science*, 80(7), 2892–2902. <https://doi.org/10.1002/ps.8052>
- Guardado-Valdivia, L., Tovar-Pérez, E., Chacón-López, A., López-García, U., Gutiérrez-Martínez, P., Stoll, A., and Aguilera, S. 2018. Identification and characterization of a new *Bacillus atrophaeus* strain B5 as biocontrol agent of postharvest anthracnose disease in soursop (*Annona muricata*) and avocado (*Persea americana*). *Microbiological research*, 210, 26-32.
- Gutiérrez Alonso, J. G., Nieto Ángel, D., Téliz Ortiz, D., Zavaleta Mejía, E., Vaquera Huerta, H., y Delgadillo Sánchez, F. 2004. Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum Gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la poscosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(3), 395-402.
- Heo Y, Lee Y, Balaraju K and Jeon Y (2024) Characterization and evaluation of *Bacillus subtilis* GYUN-2311 as a biocontrol agent against *Colletotrichum* spp. on apple and hot pepper in Korea. *Front. Microbiol.* 14:1322641. doi: 10.3389/fmicb.2023.1322641
- Heo, Y., Lee, Y., Balaraju, K., y Jeon, Y. (2024). Characterization and evaluation of *Bacillus subtilis* GYUN-2311 as a biocontrol agent against *Colletotrichum* spp. on apple and hot pepper in Korea. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1322641. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1322641>
- Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., y Alarcón, A. (2019). *Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica y sistemas de fermentación para producir*

biomasa y enzimas de interés industrial. Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences, 35(1), 98–112. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019000100098>

Herrera-González, J. A., Bautista-Baños, S., Salazar-García, S., y Gutiérrez-Martínez, P. (2020). Situación actual del manejo poscosecha y de enfermedades fungosas del aguacate ‘Hass’ para exportación en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1647–1660. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2402>

Herrera-González, J. A., y Salazar-García, S. (2017). Impactos al fruto de aguacate ‘Hass’ en la línea de empaquetado y su efecto en la calidad poscosecha. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19, especial), 4049–4061. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i19.672>

Ilea, M. I. M. (2021). Aplicación de tratamientos poscosecha para incrementar la calidad durante el almacenamiento de aguacate (*Persea americana* M.) [Tesis de maestría, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Universidad Miguel Hernández de Elche.

Illsley-Granich, C., Brokaw, R., and Ochoa-Ascencio, S. 2011. Hass Carmen[®], a precocious flowering avocado tree. In *Proceedings VII World Avocado Congress*, pp. 5-9.

Infante, D., Martínez, B., González, N., y Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 14–21.

Jaramillo Laverde, A., Murcia-Riaño, N., Martínez, M. F., Ceballos Aguirre, G., Martínez-Caballero, L. N., Ángel García, C., y Rodríguez Arévalo, K. A. (2023). Identificación y manejo de enfermedades que afectan la calidad comercial del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406702>

Jiménez-Cuesta, M., Cuquerella, J., and Martínez-Javaga, J. M. 1982. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In *Proceedings of the International Society of Citriculture/[International Citrus Congress*,

November 9-12, 1981, Tokyo, Japan; K. Matsumoto, editor]. Shimizu, Japan: International Society of Citriculture, 1982-1983.

Kassim, A., Workneh, T. S., y Bezuidenhout, C. N. (2013). A review on postharvest handling of avocado fruit. *African Journal of Agricultural Research*, 8(21), 2385–2402.

Kinhal, V. (2024, 29 de abril). Enhancing avocado quality: Comprehensive insights into production and postharvest techniques. Felix Instruments. DOI: <https://felixinstruments.com/blog/enhancing-avocado-quality-comprehensive-insights-into-production-and-postharvest-techniques/>

Kolawole, S., Obueh, H., y Onwuegbule, E. (2025). Comparative study of the proximate, mineral, and phytochemical compositions of avocado (*Persea americana*) pulp and seed. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 13(2), 112–121. <https://doi.org/10.22146/jfps.87057>

Kramer-Haimovich, H., Servi, E., Katan, T., Rollins, J. A., Okon, Y., y Prusky, D. (2006). Effect of ammonia production by *Colletotrichum Gloeosporioides* on pathogenicity of avocado fruits. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(2), 1034–1039. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.2.1034-1039.2006>

Kupnik, K., Primožič, M., Kokol, V., Knez, Ž., y Leitgeb, M. (2023). Enzymatic, antioxidant, and antimicrobial activities of bioactive compounds from avocado (*Persea americana* L.) seeds. *Plants*, 12(5), 1201. <https://doi.org/10.3390/plants12051201>

López L, L., y Cajuste B, J. F. (1996). Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate ‘Fuerte’. *Memorias de la Fundación Sánchez Colin-CICTAMEX, SC Coatepec Harinas, México*, 23-29.

López-López, M. E., Del-Toro-Sánchez, C. L., Gutiérrez-Lomelí, M., Ochoa-Ascencio, S., Aguilar-López, J. A., Robles-García, M. A., Plascencia-Jatomea, M., Bernal-Mercado, A. T., Martínez-Cruz, O., Ávila-Novoa, M. G., González-Gómez, J. P., y Guerrero-Medina, P. J. (2022). Isolation and characterization of *Trichoderma* spp. for antagonistic activity against avocado (*Persea americana* Mill) fruit pathogens. *Horticulturae*, 8(8), 714. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080714>

- Lyng, M., Jerguensen, J., Schostag, M., Jarmusch, S., Aguilar, D., Lozano, C. y Kovács, A. (2024). Competition for iron shapes metabolic antagonism between *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas marginalis*. *The ISME Journal*, 18(1), 1-13. <https://doi.org/10.1093/ismejo/wrad001>
- Lyu, X., Agar, O. T., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., y Suleria, H. A. R. (2023). Phenolic compounds profiling and their antioxidant capacity in the peel, pulp, and seed of Australian grown avocado. *Antioxidants*, 12(1), 185. <https://doi.org/10.3390/antiox12010185>
- Miranda-Gómez, B., García-Hernández, A., Muñoz-Castellanos, L., Ojeda-Barrios, D. L., y Ávila-Quezada, G. D. (2014). Pectate lyase production at high and low pH by *Colletotrichum Gloeosporioides* and *Colletotrichum acutatum*. *African Journal of Microbiology Research*, 8(19), 1948–1954. <https://doi.org/10.5897/AJMR2014.6765>
- Morales, R. (2025, 9 de mayo). Exportaciones de aguacate mexicano anotarán récord de 4,000 millones de dólares este 2025. *El Economista*.
- Moreno, L. M., y Sandoval, A. (2019). Valorización de metabolitos secundarios presentes en la semilla de aguacate (*Persea americana*). *Nova*, 17(6), 81–89. <https://doi.org/10.24236/24220493.n6.2019.9>
- Munhuweyi, K., Caleb, O. J., van Reenen, A. J., y Opara, U. L. (2020). Extension of avocado fruit postharvest quality using non-chemical treatments: A review. *Agronomy*, 10(2), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020212>
- Muñoz Alvarado, M. P. (2023). Efecto biocontrolador de *Bacillus subtilis* a nivel in vitro sobre *Colletotrichum* spp. recolectado de frutos de aguacate (*Persea americana*) [Tesis de licenciatura, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional UAE.
- Nascimento, A. P. S., Duarte, M. E. M., Rocha, A. P. T., y Barros, A. N. (2025). Valorization of avocado (*Persea americana*) peel and seed: Functional potential for food and health applications. *Antioxidants*, 14(9), 1032. <https://doi.org/10.3390/antiox14091032>

- Osondu, H. A. A., Mbatha, R. K., y Obianom, C. P. (2025). Outcome of polyphenolic compound application on stem-end rot of avocado fruits. *International Journal of Engineering Research y Technology (IJERT)*, 14(6), 1–10. <https://doi.org/10.17577/IJERTV14IS060050>
- Pagliaccia, D., Pond, E., McKee, B., y Douhan, G. W. (2013). Population genetic structure of *Phytophthora cinnamomi* associated with avocado in California and the discovery of a potentially recent introduction of a new clonal lineage. *Phytopathology*, 103(1), 91–97. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-12-0016-R>
- Pliego-Alfaro, F., Palomo-Ríos, E., Pérez, C., y Mercado, J. A. (2013). Enhancing frequency of regeneration of somatic embryos of avocado (*Persea americana* Mill.) using semi-permeable cellulose acetate membranes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 115(4), 199–207.
- Poveda, J. (2022). Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control*, 176, 105100.
- Prusky, D. 1996a. Pathogen quiescence in postharvest diseases. *Annual review of Phytopathology*, 34(1), 413-434.
- Prusky, D., McEvoy, J. L., Leverentz, B., y Conway, W. S. (2001). Local modulation of host pH by *Colletotrichum Gloeosporioides* as a mechanism to increase virulence. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 14(9), 1105–1113.
- Prusky, D., Wattad, C., and Kobiler, I. 1996b. Effect of ethylene on activation of lesion development from quiescent infections of *Colletotrichum Gloeosporioides* in avocado fruits. *Molecular plant-microbe interactions: MPMI (USA)*.
- Rahman, N., Sabang, S. M., Abdullah, R., y Bohari, B. (2022). Antioxidant properties of the methanolic extract of avocado fruit peel (*Persea americana* Mill.) from Indonesia. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology y Research*, 13(3), 166–170. https://doi.org/10.4103/japtr.japtr_22_22
- Ramírez-Gil, J. G., and Morales-Osorio, J. G. M. 2020. Integrated proposal for management of root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* in avocado cv. Hass crops. *Crop Protection*, 105271.

- Rodríguez, N. (2025, 9 de mayo). *El aguacate mexicano consolida su hegemonía con más producción y exportación en 2025*. Valencia Fruits.
- Rodríguez-López, E. S., González-Prieto, J. M., y Mayek-Pérez, N. (2009). La infección de *Colletotrichum Gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos bioquímicos y genéticos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27(1), 53–63.
- Rosas-Flores, N., Saucedo-Veloz, C., Saucedo-Reyes, D., López-Jiménez, A., Valle-Guadarrama, S., Ramírez-Guzmán, M. E., y Chávez-Franco, S. H. (2020). Maduración en poscosecha de frutos de aguacate cultivares Hass y Méndez tratados con etefón. *Acta Agronómica*, 69(4), 275–284. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n4.89994>
- Ruiz-Aracil, M. C., Valverde, J. M., Ilea, M. I. M., Valero, D., Castillo, S., y Guillén, F. (2024). Innovative postharvest management for Hass avocado at the preclimacteric stage: A combined technology with GABA and 1-MCP. *Foods*, 13(16), 2485. <https://doi.org/10.3390/foods13162485>
- Rumipamba Ganán, J. A. (2021). Extracción y caracterización de los crudos de saponinas de los residuos (cáscara y semilla) del aguacate *Persea americana* de las variedades Hass y Fuerte [Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Universidad Central del Ecuador.
- Salameh, M., Nacouzi, D., Lahoud, G., Riachy, I., y El Kayal, W. (2022). Evaluation of postharvest maturity indices of commercial avocado varieties grown at various elevations along Lebanon's coast. *Frontiers in Plant Science*, 13, 895964. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.895964>
- Salem, A. Z. M., Olivares, M., Lopez, S., Gonzalez-Ronquillo, M., Rojo, R., Camacho, L. M., & Cerrillo, S. M. A. (2011). *Effect of natural extracts of Salix babylonica and Leucaena leucocephala on nutrient digestibility and growth performance of lambs*. **Animal Feed Science and Technology**, 170, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.08.002>
- Saucedo-Hernández, L., Martínez-Damián, M. T., Colinas-León, M. T., Barrientos-Priego, A. F., & Aguilar-Melchor, J. J. (2005). “Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate ‘Fuerte’”. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 149–157.
- SIAP. 2024. Servicio de información Agroalimentaria y pesquera. En línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.

- Tapia-Rodríguez, A., Ramírez-Dávila, J. F., Figueroa-Figueroa, D. K., Salgado-Siclan, M. L., y Serrato-Cuevas, R. (2020). Spatial analysis of *anthracnose* in avocado cultivation in the State of Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, 38(1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1911-1>
- Wanjiku, E. K., Waceke, J. W., y Mbaka, J. N. (2021). Suppression of stem-end rot on avocado fruit using *Trichoderma* spp. in the Central Highlands of Kenya. *Advances in Agriculture*, 2021, Article 8867858. <https://doi.org/10.1155/2021/8867858>
- Weir, B. S., Johnston, P. R., and Damm, U. 2012. The *Colletotrichum Gloeosporioides* species complex. *Studies in mycology*, 73, 115-180.
- Yakoby, N., Beno-Moualem, D., Keen, N. T., Dinoor, A., Pines, O., y Prusky, D. (2001). *Colletotrichum Gloeosporioides* pelB is a pectate lyase required for full virulence on avocado. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 14(9), 1105–1113. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2001.14.9.1105>
- Yaraguppi, D. A., Bagewadi, Z. K., Patil, N. R., y Mantri, N. (2023). Iturin: A promising cyclic lipopeptide with diverse applications. *Biomolecules*, 13(10), 1515. <https://doi.org/10.3390/biom13101515>
- Zamora-Magdaleno, T., Cárdenas-Soriano, E., Cajuste-Bontemps, J. F., y Colinas-León, M. T. (2001). Anatomía del daño por rozamiento y por *Colletotrichum Gloeosporioides* Penz. en fruto de aguacate ‘Hass’. *Agrociencia*, 35(2), 237–244.
- Zapata-Luna, R. L., Pacheco, N., Herrera-Pool, E., Román-Guerrero, A., Ayora-Talavera, T., Pech-Cohuo, S. C., Santillán-Fernández, A., y Cuevas-Bernardino, J. C. (2025). Morpho-physicochemical, nutritional composition and phenolic compound profile of two avocado landraces in different ripening stages. *Plants*, 14(4), 624. <https://doi.org/10.3390/plants14040624>

ANEXOS

Tablas de análisis ANOVA de las variables estudiadas.

One-Way ANOVA - Tamaño de hueso by Tratamientos

Dependent variable: Tamaño de hueso

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for Tamaño de hueso

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	36.9333	2.15716	5.84068%	35.4	39.4	4.0	1.11901
A1 B2	3	33.6333	2.02567	6.0228%	32.0	35.9	3.9	0.897609
A1 B3	3	34.3667	1.20968	3.51993%	33.0	35.3	2.3	-0.993583
A2 B1	3	33.0	0.818535	2.48041%	32.1	33.7	1.6	-0.731065
A2 B2	3	33.6333	2.02567	6.0228%	32.0	35.9	3.9	0.897609
A2 B3	3	34.1333	1.92959	5.65311%	32.6	36.3	3.7	0.931881
A3 B1	3	36.8667	4.38444	11.8927%	31.9	40.2	8.3	-1.02088
A3 B2	3	36.4	1.4	3.84615%	35.4	38.0	2.6	1.11323
A3 B3	3	37.9667	0.450925	1.18769%	37.5	38.4	0.9	-0.233933
Total	27	35.2148	2.47739	7.03508%	31.9	40.2	8.3	0.709327

ANOVA Table for Tamaño de hueso by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	79.3674	8	9.92093	2.23	0.0756
Within groups	80.2067	18	4.45593		
Total (Corr.)	159.574	26			

One-Way ANOVA - Tamaño de fruta by Tratamientos

Dependent variable: Tamaño de fruta

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for Tamaño de fruta

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	63.7	0.43589	0.684286%	63.2	64.0	0.8	-1.15263
A1 B2	3	65.1667	1.42945	2.19353%	63.6	66.4	2.8	-0.701656
A1 B3	3	69.4333	1.96554	2.83083%	68.2	71.7	3.5	1.21049
A2 B1	3	65.1	2.02978	3.11794%	62.9	66.9	4.0	-0.602708
A2 B2	3	65.8	0.519615	0.789689%	65.5	66.4	0.9	1.22474
A2 B3	3	68.8	1.31149	1.90623%	67.6	70.2	2.6	0.473963
A3 B1	3	68.7	2.6	3.78457%	65.7	70.3	4.6	-1.2166
A3 B2	3	71.5	0.916515	1.28184%	70.7	72.5	1.8	0.6613
A3 B3	3	67.3	0.3	0.445765%	67.0	67.6	0.6	0.0

Total	27	67.2778	2.72303	4.04744%	62.9	72.5	9.6	0.482802
-------	----	---------	---------	----------	------	------	-----	----------

ANOVA Table for Tamaño de fruta by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	152.993	8	19.1242	8.65	0.0001
Within groups	39.7933	18	2.21074		
Total (Corr.)	192.787	26			

One-Way ANOVA - Tamaño de pulpa by Tratamientos

Dependent variable: Tamaño de pulpa

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for Tamaño de pulpa

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	34.7667	5.15008	14.8133%	29.6	39.9	10.3	-0.0205942
A1 B2	3	36.7667	1.85023	5.03234%	34.9	38.6	3.7	-0.0573074
A1 B3	3	44.6	2.6	5.8296%	41.6	46.2	4.6	-1.2166
A2 B1	3	32.4	1.249	3.85494%	31.4	33.8	2.4	0.914531
A2 B2	3	36.7667	1.85023	5.03234%	34.9	38.6	3.7	-0.0573074
A2 B3	3	43.1667	2.20303	5.10354%	41.7	45.7	4.0	1.17948
A3 B1	3	34.8667	2.43379	6.98028%	32.7	37.5	4.8	0.587696
A3 B2	3	39.9333	5.71868	14.3206%	34.5	45.9	11.4	0.294175
A3 B3	3	35.4333	4.36616	12.3222%	30.5	38.8	8.3	-0.994756
Total	27	37.6333	4.84609	12.8771%	29.6	46.2	16.6	0.724084

ANOVA Table for Tamaño de pulpa by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	402.133	8	50.2667	4.34	0.0046
Within groups	208.467	18	11.5815		
Total (Corr.)	610.6	26			

One-Way ANOVA - Sapononas mg x g by Tratamientos

Dependent variable: Sapononas mg x g

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for Sapononas mg x g

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	0.116667	0.0602771	51.6661%	0.06	0.18	0.12	0.347623
A1 B2	3	0.17	0.01	5.88235%	0.16	0.18	0.02	0.0
A1 B3	3	0.196667	0.0305505	15.5342%	0.17	0.23	0.06	0.6613

A2 B1	3	0.18	0.0264575	14.6986%	0.16	0.21	0.05	1.03086
A2 B2	3	0.16	0.0360555	22.5347%	0.12	0.19	0.07	-0.814636
A2 B3	3	0.97	0.445421	45.9197%	0.57	1.45	0.88	0.553065
A3 B1	3	0.163333	0.080829	49.4872%	0.09	0.25	0.16	0.510608
A3 B2	3	0.146667	0.0650641	44.3619%	0.08	0.21	0.13	-0.16259
A3 B3	3	0.103333	0.0208167	20.1452%	0.08	0.12	0.04	-0.914531
Total	27	0.245185	0.292619	119.346%	0.06	1.45	1.39	7.09569

ANOVA Table for Sapononas mg x g by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1.79374	8	0.224218	9.33	0.0000
Within groups	0.432533	18	0.0240296		
Total (Corr.)	2.22627	26			

One-Way ANOVA - Fenoles mg x g by Tratamientos

Dependent variable: Fenoles mg x g

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for Fenoles mg x g

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	0.16	0.0264575	16.5359%	0.14	0.19	0.05	1.03086
A1 B2	3	0.19	0.052915	27.85%	0.15	0.25	0.1	1.03086
A1 B3	3	0.286667	0.0208167	7.26163%	0.27	0.31	0.04	0.914531
A2 B1	3	0.0666667	0.0351188	52.6783%	0.03	0.1	0.07	-0.299299
A2 B2	3	0.1	0.0264575	26.4575%	0.07	0.12	0.05	-1.03086
A2 B3	3	0.12	0.0264575	22.0479%	0.09	0.14	0.05	-1.03086
A3 B1	3	0.103333	0.0152753	14.7825%	0.09	0.12	0.03	0.6613
A3 B2	3	0.153333	0.011547	7.53066%	0.14	0.16	0.02	-1.22474
A3 B3	3	0.0933333	0.0351188	37.6273%	0.06	0.13	0.07	0.299299
Total	27	0.141481	0.0687081	48.5633%	0.03	0.31	0.28	2.10062

ANOVA Table for Fenoles mg x g by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.106407	8	0.0133009	14.66	0.0000
Within groups	0.0163333	18	0.000907407		
Total (Corr.)	0.122741	26			

One-Way ANOVA - pH by Tratamientos

Dependent variable: pH

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for pH

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	6.66667	0.057735	0.866025%	6.6	6.7	0.1	-1.22474
A1 B2	3	6.4	0.0	0.0%	6.4	6.4	0.0	-1.73205
A1 B3	3	6.56667	0.057735	0.879214%	6.5	6.6	0.1	-1.22474
A2 B1	3	6.5	0.1	1.53846%	6.4	6.6	0.2	0.0
A2 B2	3	6.56667	0.057735	0.879214%	6.5	6.6	0.1	-1.22474
A2 B3	3	6.4	0.0	0.0%	6.4	6.4	0.0	-1.73205
A3 B1	3	6.46667	0.057735	0.89281%	6.4	6.5	0.1	-1.22474
A3 B2	3	6.5	0.0	0.0%	6.5	6.5	0.0	
A3 B3	3	6.7	0.1	1.49254%	6.6	6.8	0.2	0.0
Total	27	6.52963	0.11373	1.74175%	6.4	6.8	0.4	1.16236

ANOVA Table for pH by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.26963	8	0.0337037	9.10	0.0001
Within groups	0.0666667	18	0.0037037		
Total (Corr.)	0.336296	26			

One-Way ANOVA - L by Tratamientos

Dependent variable: L

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for L

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	44.37	16.3679	36.8896%	34.88	63.27	28.39	1.22471
A1 B2	3	37.93	0.111355	0.293581%	37.83	38.05	0.22	0.553065
A1 B3	3	40.7367	0.44411	1.0902%	40.4	41.24	0.84	1.02596
A2 B1	3	58.3833	5.335	9.13788%	54.57	64.48	9.91	1.1124
A2 B2	3	48.65	1.67502	3.44301%	46.98	50.33	3.35	0.018996
A2 B3	3	40.2433	7.00327	17.4023%	36.19	48.33	12.14	1.22473
A3 B1	3	56.92	0.324191	0.569556%	56.63	57.27	0.64	0.568736
A3 B2	3	53.95	0.690869	1.28057%	53.36	54.71	1.35	0.735571
A3 B3	3	40.0167	0.530503	1.3257%	39.5	40.56	1.06	0.159544
Total	27	46.8	9.20501	19.6688%	34.88	64.48	29.6	0.689259

ANOVA Table for L by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1504.45	8	188.056	4.85	0.0026
Within groups	698.592	18	38.8107		
Total (Corr.)	2203.04	26			

One-Way ANOVA - a by Tratamientos

Dependent variable: a

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for a

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	-9.17333	0.107858	-1.17578%	-9.25	-9.05	0.2	1.11901
A1 B2	3	-8.34333	0.0288675	-0.345995%	-8.36	-8.31	0.05	1.22474
A1 B3	3	-6.28333	0.0251661	-0.400522%	-6.31	-6.26	0.05	-0.41407
A2 B1	3	-5.95333	0.169214	-2.84234%	-6.14	-5.81	0.33	-0.761423
A2 B2	3	-6.81667	0.0680686	-0.998561%	-6.87	-6.74	0.13	0.962585
A2 B3	3	-8.68	0.337787	-3.89155%	-9.07	-8.48	0.59	-1.22354
A3 B1	3	-7.19333	0.0404145	-0.561833%	-7.23	-7.15	0.08	0.510608
A3 B2	3	-9.26667	0.0057735	-0.062304%	-9.27	-9.26	0.01	1.22474
A3 B3	3	-9.36667	0.176163	-1.88074%	-9.57	-9.26	0.31	-1.22031
Total	27	-7.89741	1.30015	-16.463%	-9.57	-5.81	3.76	0.551808

ANOVA Table for a by Tratamientos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	43.5638	8	5.44547	253.71	0.0000
Within groups	0.386333	18	0.021463		
Total (Corr.)	43.9501	26			

One-Way ANOVA - b by Tratamientos

Dependent variable: b

Factor: Tratamientos

Number of observations: 27

Number of levels: 9

Summary Statistics for b

Tratamientos	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range	Std. skewness
A1 B1 TESTIGO	3	43.77	1.40616	3.21262%	42.18	44.85	2.67	-1.00226
A1 B2	3	42.86	0.228692	0.533579%	42.6	43.03	0.43	-1.0583
A1 B3	3	43.96	0.497594	1.13192%	43.42	44.4	0.98	-0.613646
A2 B1	3	40.0767	1.68622	4.20748%	38.91	42.01	3.1	1.14767
A2 B2	3	39.7733	0.15885	0.399388%	39.59	39.87	0.28	-1.21929
A2 B3	3	42.69	0.494267	1.15781%	42.12	43.0	0.88	-1.21066
A3 B1	3	39.05	0.160935	0.412125%	38.88	39.2	0.32	-0.38933
A3 B2	3	41.2867	0.011547	0.0279679%	41.28	41.3	0.02	1.22474
A3 B3	3	46.0767	0.22723	0.493156%	45.87	46.32	0.45	0.500087
Total	27	42.1715	2.30531	5.46651%	38.88	46.32	7.44	0.264437

ANOVA Table for b by Tratamientos

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	127.24	8	15.905	26.18	0.0000
Within groups	10.9355	18	0.607526		
Total (Corr.)	138.176	26			