

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Desarrollo de un recubrimiento antifúngico con semilla de aguacate para el control
de antracnosis en banano

INGE-2875

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera en Alimentos

Presentado por:

Emily Fernanda Atiaja Balseca

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, el Lcdo. Vicente Atiaja y la MSc. Dolores Balseca por ser la fuente inagotable de amor y confianza durante el transcurso de la carrera.

A mis hermanas, Leidi y Mariliz por ser mi soporte en todo este tiempo y por sembrar en mí la confianza y seguridad de que puedo alcanzar las metas que me proponga. A mis madrinas MSc. Mariana y MSc. Narcisa por jugar un papel fundamental en mi educación y formación. A mi abuelita, por brindarme su amor y cariño condicional.

Finalmente a mí, por ser la miedosa más valiente, y la más dudosa que nunca se rindió por alcanzar su meta de terminar sus estudios en ESPOL.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios y a María Santísima por darme la sabiduría y la inteligencia para poder culminar mis estudios en tan emblemática universidad.

A mis padres y hermanas, por su amor incondicional, paciencia y por enseñarme, con su ejemplo, que la perseverancia abre caminos.

A mi abuelita Isabel, a mis madrinas MSc. Hna. Mariana y MSc. Hna. Narcisa por su constante apoyo y cariño incondicional.

A mis docentes, desde quienes me recibieron en el preuniversitario hasta quienes me acompañan en este último semestre, por su dedicación y paciencia.

A mis amigos, compañeros fieles que han sido alivio y compañía en cada etapa de la carrera.

A todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su ayuda a lo largo de este camino.

Finalmente, me agradezco a mí mismo por no rendirme y por demostrarme que soy capaz de alcanzar grandes logros.

Declaración Expresa

Yo Emily Fernanda Atiaja Balseca acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 21 de mayo del 2025



Emily Fernanda Atiaja

Balseca

Evaluadores

Andrea Ortega

Profesor de Materia

Tania María Guzmán, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un recubrimiento antifúngico a base de semilla de aguacate para controlar la antracnosis en banano mediante la impregnación al vacío. Se plantea que el recubrimiento contribuye a retrasar el deterioro del fruto y ayuda a preservar su calidad durante el almacenamiento, resaltando su importancia en la mejora de la vida útil de este producto de exportación. Para su ejecución se obtuvo el extracto de la semilla de aguacate Hass, formulado en combinación con almidón de yuca con una proporción menor de almidón de aguacate, glicerol y vinagre, aplicados sobre bananos mediante técnicas de inmersión e impregnación al vacío. El diseño experimental incluyó evaluaciones fisicoquímicas (pérdida de peso, °Brix, pH, actividad de agua, color y dureza) y microbiológicas bajo condiciones controladas de almacenamiento. Los resultados mostraron que los recubrimientos, en especial aquellos aplicados por impregnación al vacío con extracto al 3 %, lograron reducir la pérdida de peso, mantener mejor la luminosidad y la firmeza, retrasar el aumento de sólidos solubles y disminuir la incidencia de antracnosis respecto a los frutos sin tratamiento. Se concluye que la formulación del recubrimiento, junto con la técnica de impregnación al vacío, constituye una estrategia prometedora, eficaz y sostenible para prolongar la calidad postcosecha del banano destinado a exportación.

Palabras Clave: conservación, recubrimiento, extracto, semilla de aguacate, antracnosis.

Abstract

The objective of this project is to develop an antifungal coating based on avocado seeds to control anthracnose in bananas through vacuum impregnation. It is proposed that the coating contributes to delaying fruit deterioration and helps preserve its quality during storage, highlighting its importance in improving the shelf life of this export product. For its implementation, an extract was obtained from Hass avocado seeds, formulated in combination with cassava starch with a smaller proportion of avocado starch, glycerol, and vinegar, applied to bananas using immersion and vacuum impregnation techniques. The experimental design included physicochemical (weight loss, °Brix, pH, water activity, color, and hardness) and microbiological evaluations under controlled storage conditions. The results showed that the coatings, especially those applied by vacuum impregnation with 3% extract, reduced weight loss, maintained brightness and firmness better, delayed the increase in soluble solids, and decreased the incidence of anthracnose compared to untreated fruits. The aim of this project is to develop an antifungal coating based on avocado seeds to control anthracnose. It is concluded that the formulation of the coating, together with the vacuum impregnation technique, constitutes a promising, effective, and sustainable strategy for prolonging the post-harvest quality of bananas intended for export.

Keywords: preservation, coating, extract, avocado seed, anthracnose.

Índice general

Evaluadores	4
Resumen	6
<i>Abstract</i>	7
Índice general	8
Abreviaturas (se colocan en orden alfabético)	10
Simbología (se colocan en orden alfabético)	11
Índice de figuras	12
Índice de tablas	12
Capítulo 1	13
1.1 Introducción	14
1.2 Descripción del Problema	15
1.3 Justificación del Problema	15
1.4 Objetivos.....	17
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	17
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	17
1.5 Marco teórico	17
1.1 El banano en el Ecuador	17
1.2 Enfermedades fúngicas que afectan al banano.....	18
1.3 Mecanismos actuales para combatir la Antracnosis	19
1.4 Películas y recubrimientos biodegradables.....	20
1.5 Importancia y aprovechamiento de la semilla de aguacate en la industria.....	22
1.6 Almidón de yuca como parte de recubrimientos comestibles	23
1.7 Impregnación al vacío en alimentos	23
1.7.1 Variables del proceso de impregnación al vacío	24
Capítulo 2	26
2. Metodología.	27

2.1	Materiales y químicos Diseño experimental.....	27
2.2	Materiales vegetales y químicos.....	28
2.3	Recepción y preparación de las semillas de aguacate.....	28
2.4	Obtención de extracto de la semilla de aguacate.....	28
2.5	Proceso extracción del almidón:.....	29
2.6	Formulación y aplicación de soluciones.....	29
2.7	Análisis físicos	30
2.8	Análisis químicos.....	31
2.9	Análisis microbiológicos	32
Capítulo 3		33
3.	Resultados y análisis	34
3.1	Análisis de color	34
3.2	Pérdida de peso y disminución del contenido de humedad	37
3.3	Firmeza de la cáscara	38
3.4	°Brix	39
3.5	pH.....	41
3.6	Actividad de agua	42
3.7	Análisis microbiológico del extracto de la semilla de aguacate	43
3.8	Análisis de incidencia de antracnosis en la superficie de la fruta	44
Capítulo 4		46
4.1	Conclusiones y recomendaciones	47
4.1.1	Conclusiones	47
4.1.2	Recomendaciones	48

Abreviaturas

AE Aceites Esenciales

Aw Actividad de agua

FAO Food and Agriculture Organization

IV Impregnación al vacío

HR Humedad Relativa

Simbología

Bar Unidad de medida de la presión

mbar milibar

Índice de figuras

Figura 1	19
Figura 2	34
Figura 3	36
Figura 4	37
Figura 5	38
Figura 6.	39
Figura 7.	40
Figura 8	41
Figura 9	43
Figura 10.....	45

Índice de tablas

Tabla 1.....	27
Tabla 2.....	30

Capítulo 1

1.1 Introducción

Según la FAO, el banano (*Musa spp.*) se posiciona como una de las frutas que mayor producción y consumo tienen a nivel mundial. Esto se debe a sus características nutricionales, que lo convierten en un alimento básico y requerido por muchos países (Arias et al., 2004).

La exportación del banano es una de las mayores fuentes de ingreso económico no petrolero en el Ecuador. Las condiciones climáticas favorables y las prácticas de cultivo han permitido que el banano ecuatoriano se distinga por su buena calidad, lo que ha posicionado al país como uno de los mayores exportadores a nivel mundial. Durante el primer trimestre del 2024, esta actividad generó un total de USD 973 millones (Ministerio de Producción, 2024).

No obstante, la calidad de esta fruta suele verse comprometida por la presencia de enfermedades fúngicas que afectan desde la raíz hasta el fruto, ocasionando en muchos casos un deterioro significativo e incluso la pérdida total del fruto. Un claro ejemplo de ello es el hongo *Colletotrichum musae*, agente causal de la antracnosis en el fruto, una enfermedad que se presenta con manchas de una tonalidad marrón oscuro a negro de gran tamaño en la superficie de la fruta, lo que finalmente afecta su valor comercial. Este hongo se desarrolla principalmente durante la maduración del fruto (Ploetz, et al., 2009; Lim et al., 2002; Thangamani et al., 2011).

Actualmente, el control de la antracnosis en el banano se realiza mediante la aplicación de fungicidas en la postcosecha tales como compuestos cúpricos, estrobirulinas, ditiocarbamatos, benzimidazoles y triazoles. También el de compuestos químicos como procloraz, imazalil y clortalonil. Sin embargo, su uso prolongado puede tener afectaciones considerables con el medio ambiente y el desarrollo de resistencia por parte de los patógenos (Negrini et al., 2022).

Frente a esta problemática, el presente proyecto busca desarrollar un recubrimiento antifúngico a base de extracto de semilla de aguacate (*Persea americana*). Se propone como una alternativa natural y sostenible para el control de la antracnosis en el banano. Haciendo uso de la técnica de impregnación al vacío. Esta estrategia tiene como objetivo mantener la calidad del fruto

durante la postcosecha y prolongar su vida útil. Al mismo tiempo, busca reducir el uso de productos químicos y promover prácticas más amigables con el medio ambiente.

1.2 Descripción del Problema

En la industria bananera, una de las principales causas de rechazo al banano destinado a exportación, es la aparición de enfermedades que afectan la calidad del producto, provocando su deterioro, como la antracnosis. Esta enfermedad es causada por un hongo que se caracteriza por generar manchas negras en la superficie del fruto y es fácilmente transmisible en ambientes cálidos y húmedos.

En una empresa local dedicada a la exportación de banano, que envía alrededor de 15 contenedores semanalmente, se registran pérdidas que oscilan entre el 2 % y el 4 % del total de cajas por contenedor, lo que equivale aproximadamente a 22 a 45 cajas afectadas por este hongo. Esta enfermedad no solo afecta a la empresa en cuestión, sino que constituye una problemática para todo el sector bananero, sean estos grandes o medianos productores. Por esta razón, el desarrollo de un recubrimiento antifúngico empleando alternativas sostenibles, podría representar una posible solución que beneficie a múltiples empresas.

1.3 Justificación del Problema

La antracnosis, causada por el *Colletotrichum musae*, es una de las enfermedades que afectan la calidad del banano y reduce su vida útil. En el 2024, la empresa en cuestión ha registrado una pérdida económica de alrededor \$25.000 debido al rechazo de bananas exportadas.

Ante esta situación, la industria bananera ha buscado la forma de responder a esta problemática haciendo uso de fungicidas como es el caso de compuestos cúpricos, estrobirulinas, ditiocarbamatos, benzimidazoles y triazoles. También el de compuestos químicos como procloraz, imazalil y clortalonil.

Si bien es cierto que estos compuestos han demostrado eficacia frente a este hongo, su uso continuo plantea riesgos importantes relacionados con la inocuidad alimentaria y el desarrollo de resistencia microbiana. En este contexto, resulta necesario investigar alternativas más sostenibles que garanticen la calidad del banano.

Entre las estrategias emergentes se encuentra el uso de recubrimientos naturales con propiedades antifúngicas elaborados a partir de compuestos bioactivos extraídos de subproductos agroindustriales. Los compuestos polis fenólicos poseen diversas formas de inhibir el crecimiento de hongos patógenos. Debido a su capacidad fungicida natural, estos compuestos resultan prometedores en la agricultura como alternativas más sostenibles frente a los fungicidas químicos convencionales.

En particular, la semilla de aguacate (*Persea americana*) destaca por su elevado contenido de polifenoles y taninos, lo que la convierte en una fuente potencial para el desarrollo de recubrimientos comestibles con actividad antifúngica (Beltrán, 2024).

Se espera que con el desarrollo de un recubrimiento antifúngico a base de semilla de aguacate y la aplicación de la técnica de Impregnación al vacío haya una mejora en la calidad de la fruta.

Este recubrimiento permitirá prolongar su periodo de vida útil hasta llegar a su lugar de destino de forma más segura. Asimismo, se busca que este proceso sea económico y ambientalmente responsable.

Por tanto, este estudio se justifica por su relevancia científica, tecnológica y ambiental, al proponer una solución innovadora frente a un problema real del sector agroalimentario ecuatoriano.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un recubrimiento antifúngico proveniente de la semilla de aguacate para controlar la antracnosis en el banano mediante el método de la impregnación al vacío.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Obtener el extracto de la semilla de aguacate Hass por sus propiedades antifúngicas para su aplicación en el recubrimiento de bananas destinadas para exportación.
2. Formular el recubrimiento a base del extracto y almidón de aguacate en combinación con almidón de yuca para su posterior incorporación en las bananas mediante la técnica de impregnación al vacío.
3. Evaluar la eficacia del recubrimiento mediante pruebas de tiempo (microbiológicas) y fisicoquímicas en laboratorio.

1.5 Marco teórico

1.1 El banano en el Ecuador

En Ecuador, el cultivo de banano empezó alrededor de la década de 1940 convirtiéndose en un pilar fundamental para la economía del país. Esto no solo generó fuentes de empleo sino que también contribuyó al incremento de ingresos, impulsando así el desarrollo agrícola y social (Vaca et al., 2020). Durante la presidencia de Galo Plaza Lasso (1948-1952), la producción bananera recibió un fuerte impulso gracias a políticas de apoyo, lo que permitió que Ecuador se posicionara como el principal exportador mundial de banano en pocos años (El Productor, 2025)

La exportación del banano (*Musa X paradisiaca*) representa la principal actividad agrícola que impulsa la economía del país. Se cultiva principalmente en tres provincias del litoral: Guayas (34%), Los Ríos (16%) y El Oro (14%), y otras 7 provincias (36%) del país.

Alrededor del mundo existen más de 200 variedades de banano. Sin embargo, el que más se cultiva y lidera el mercado bananero en exportación es la variedad *Cavendish*, con un 47% de la producción total (Vaca et al., 2020).

Según Medina (2013, citado por Vaca et al. (2020)), el banano exportado por Ecuador es requerido por el mercado internacional debido a que cumple con sus estándares de calidad. Dichos estándares se han ido alineándose gracias al desarrollo tecnológico que han tenido en las diferentes etapas de producción, transporte y distribución. Durante el primer trimestre del 2024, esta actividad generó un total de USD 973 millones (Ministerio de Producción, 2024).

Pese a estos grandes avances, persisten factores que restringen estas etapas, uno de ellos las enfermedades provocadas por hongos (da Costa et al., 2021).

1.2 Enfermedades fúngicas que afectan al banano

La antracnosis, es una enfermedad causada por el hongo *Collectotrichum musae*. Se presentan con mayor frecuencia en zonas tropicales y subtropicales. En cambio, es menos común en regiones templadas, debido a que su desarrollo depende de condiciones de alta humedad relativa y temperaturas cálidas, como las que se encuentran en varias provincias del Ecuador (Negrini et al., 2022). Esta enfermedad inicia en las etapas tempranas del desarrollo del fruto, permaneciendo inactiva hasta la maduración, lo cual resulta crítico principalmente durante el almacenamiento y la comercialización.

Según lo describe Muimba-Kankolongo (2018) lo que se presenta primero son pequeñas manchas circulares de color negro en las flores, la superficie y los extremos distales. Con el tiempo, estas lesiones crecen, se hunden y se fusionan, resultando en grandes manchas superficiales de la fruta como se puede apreciar en la Figura 1. Esta situación impacta no solo en los estándares de calidad del banano, sino que también provoca pérdidas económicas para la empresa. Las estadísticas señalan que esta enfermedad puede ocasionar pérdidas de hasta un 30-40% de los productos aptos para la venta (Negrini et al., 2022)

Figura 1

Lesiones causadas por el hongo presentes en la banana



Nota. Imagen tomada de referencia de Muimba-Kankolongo (2018)

1.3 Mecanismos actuales para combatir la Antracnosis

Ante esta problemática, las empresas han recurrido a diferentes prácticas con el objetivo de inhibir el crecimiento y desarrollo del hongo en el fruto. Tal es el caso de la aplicación de componentes químicos durante la postcosecha. En ese sentido, Negrini et al. (2022) señala que los fungicidas resultan efectivos para reducir el crecimiento del inóculo de *Colletotrichum* en el campo y el desarrollo del hongo durante el almacenamiento de la fruta.

Entre los productos comúnmente empleados para combatir al hongo *Colletotrichum spp.* Se encuentran los compuestos cúpricos, estrobirulinas, ditiocarbamatos, benzimidazoles y triazoles. Además, se manejan compuestos químicos como procloraz, imazalil y clortalonil, que complementan el control de esta enfermedad (Negrini et al., 2022). Si bien estos agentes han contribuido positivamente al control de la situación, su uso prolongado representa un riesgo tanto para la salud humana como para el medioambiente, además de favorecer a la resistencia por parte de los fitopatógenos y a la aparición nuevas cepas (da Costa *et al.*, 2021).

Considerando lo anterior, se hace evidente la necesidad de buscar nuevas estrategias que no solo sean innovadoras y eficaces, sino que también vayan por una vía sostenible.

Actualmente, existen investigaciones que revelan que el uso de extractos de aceites esenciales (AE) de diferentes plantas ha podido ejercer una actividad antifúngica frente a las diversas cepas de *Colletotrichum spp.* Estos AE presentan una notable actividad antifúngica, atribuida principalmente a dos grupos de compuestos lipídicos activos: los terpenoides y los fenilpropanoides, los cuales pueden interactuar con las regiones hidrofóbicas de la membrana del patógeno.

Los aceites han sido reconocidos desde la antigüedad por sus propiedades antimicrobianas y, en años recientes, su potencial para sustituir productos químicos en la agricultura ha sido ampliamente investigado. Entre los AE que destacan están el aceite de limoncillo, el aceite de jengibre, el de tomillo, entre otros.

No obstante, Negrini et al. (2022) señala que algunos de estos AE presentan desventajas en sus formulaciones, particularmente en aspectos de estabilidad y durabilidad debido a que presentan una alta volatilidad e hidrofobicidad. Para superar estas limitaciones, se han propuesto técnicas basadas en nanotecnología, tales como la encapsulación de AE, su incorporación en recubrimientos comestibles o biodegradables, y el desarrollo de micro emulsiones, como opciones prometedoras para obtener formulaciones más estables.

1.4 Películas y recubrimientos biodegradables

Las películas y recubrimientos biodegradables tienen su propia función. En el caso del primero, se emplean principalmente para envolver los alimentos. Mientras que el segundo se aplica directamente sobre la superficie de los productos alimenticios.

Ambos se forman a partir de hidrocoloides como proteínas, polisacáridos, lípidos, compuestos antimicrobianos o combinaciones de estos componentes.

Los materiales empleados para la elaboración de estas películas provienen mayormente de fuentes biológicas renovables, compuestas principalmente por almidón, celulosa, hemicelulosa, proteínas, gelatina, lípidos y fibras, entre otros. Algunos ejemplos son el cultivo del maíz, sorgo y

arroz, así como residuos de frutas, verduras y subproductos agrícolas. Además, los desechos generados por la industria alimentaria representan una fuente valiosa para la obtención de estos materiales biológicos, ya que están disponibles a lo largo de toda la cadena de producción, desde el campo hasta el procesamiento y consumo. Estos residuos son accesibles y económicos, lo que favorece su reutilización y contribuye a la gestión sostenible de desechos.

No obstante, existe una notable diferencia con los polímeros derivados del petróleo, estos biopolímeros tienen limitaciones en sus propiedades mecánicas y de protección, por lo que es necesario incorporar aditivos con el objetivo de que mejoren su desempeño.

En muchos casos, una sola capa de recubrimiento comestible no resulta suficiente para cumplir con todos los requerimientos de protección. Por esta razón, se han desarrollado recubrimientos multicapa que combinan más de un tipo de material biológico. Estas formulaciones pueden potenciar sus características funcionales y ofrecer una mejor protección (Gupta et al., 2022).

Su aplicación se ha incrementado dentro de la industria alimentaria gracias a sus diversas funciones tales como la protección frente a daños físicos, químicos y biológicos que pueden afectar a los alimentos. Además, contribuye a reducir la pérdida de gases como el oxígeno y dióxido de carbono, así como la humedad, lo que resulta en una prolongación de la vida útil de los productos, mejorando al mismo tiempo su integridad mecánica y sus propiedades para la manipulación (Gupta et al., 2022). De la misma manera, estos recubrimientos son eficaces gracias a sus propiedades antimicrobianas; término que hace referencia a aquellos materiales que se encargan de inhibir el crecimiento de diversos microorganismos como bacterias, hongos y algas.

Estudios recientes han demostrado que, dentro del sector alimentario hay residuos sólidos que son ricos en nutrientes y sustancias bioactivas, propiedades que los hacen indispensables para la elaboración de biopolímeros. Un ejemplo de este caso, son los residuos de frutas y

verduras que se utilizan como ingredientes principales en la creación de diferentes películas y recubrimientos (Gupta et al., 2022)

1.5 Importancia y aprovechamiento de la semilla de aguacate en la industria

Recientes investigaciones destacan la importancia del uso de la semilla de aguacate gracias a la presencia de sus compuestos bioactivos, los cuales han logrado darle un valor agregado a este residuo para fuentes alternativas como harinas, fitoquímicos, aceites, colorantes naturales y almidón. Además, que esta semilla impulsa el desarrollo de soluciones sostenibles en la industria alimentaria como es el caso de actuar como encapsulante y formador de películas o recubrimientos biodegradables (de Dios Avila et al., 2023).

El almidón es uno de los polisacáridos más relevantes como fuente principal de carbohidratos. Su extracción y comercialización se ha consolidado en el mercado global (Martins et al., 2022). En este contexto, la semilla de aguacate se posiciona como una fuente no convencional y valiosa para la extracción de almidón y extracto, debido a su composición química: oxígeno (48,4%), carbono (44,6%), hidrógeno (6,3%) y nitrógeno (0,7%), de modo que el 97,2% de su peso corresponde a compuestos orgánicos, y el 2,8% restante a óxidos de silicio y potasio (Bazzo, 2015).

Además, en el estudio de Rodríguez-Carpena et al. (2011), explican que la semilla contiene compuestos fenólicos y antioxidantes. Estos le proporcionan la capacidad de disminuir la oxidación de la clorofila y retrasar la síntesis de los carotenoides, responsables del cambio de color en los bananos.

Esta fruta, originaria de Centroamérica, ha sido tradicionalmente incorporada en la dieta de diversos países, incluyendo Ecuador. En este país, el cultivo de la fruta se centra en las provincias de Carchi (36%), Imbabura (18%), Pichincha (31%), Tungurahua (8%) y Santa Elena (7%) (Herrera, 2022).

1.6 Almidón de yuca como parte de recubrimientos comestibles

Según Ruiz Medina et al. (2025), el almidón de yuca se utiliza comúnmente en la elaboración de recubrimientos y películas comestibles gracias a sus propiedades. Este polímero presenta una notable capacidad para formar películas, lo que favorece a la disminución de procesos oxidativos y refuerza la resistencia mecánica del recubrimiento. De esta manera contribuye a mejorar la apariencia externa de la fruta a lo largo de su almacenamiento.

Además, de su alta disponibilidad en el mercado; al menos aquí en Ecuador, se obtiene fácilmente dado que es un país productor de yuca, tiene un bajo costo. Su principal función es el de actuar como formador de matriz, creando una barrera semipermeable en las diferentes frutas.

Por otra parte, Vázquez & Guerrero (2013), señalan que los recubrimientos a base de almidón de yuca y soya han demostrado ser eficaces para reducir la pérdida de peso en las frutas durante su almacenamiento. Al mismo tiempo, limitan el proceso de deshidratación y ayudan a conservar atributos de calidad como color y textura.

1.7 Impregnación al vacío en alimentos

La técnica de impregnación al vacío (IV) constituye una herramienta eficaz para prolongar la vida útil de los alimentos después de su cosecha. No solo permite la conservación de los alimentos sino que también permite incorporar componentes activos directamente en la matriz del alimento. Esto ocurre gracias a un mecanismo hidrodinámico (Fito et al., 1996).

Según lo describe Ossa et al. (2023) este mecanismo se basa en una transferencia de masa que sucede entre un sólido (el alimento) y un líquido (solución con los componentes activos). Cuando se aplica el vacío, la presión interna en los espacios llenos de gas dentro del alimento disminuye drásticamente. Al restablecer la presión externa (al sumergir el alimento en la solución), se crea una diferencia de presión que impulsa la solución hacia el interior del alimento. Este cambio de volumen interno permite que la solución se incorpore, lo que, a su vez, genera modificaciones importantes en las propiedades físicas, nutricionales y sensoriales del alimento.

1.7.1 Variables del proceso de impregnación al vacío

Según Durán-Castañeda et al. (2024) las variables que tiene mayor relevancia en la aplicación del proceso de IV son la presión de vacío, el tiempo de vacío, el tiempo de restauración y la solución de impregnación.

La presión de vacío responde a una presión por debajo de la atmosférica (≈ 1013 mbar), aplicada en la cámara de vacío durante el proceso IV. Esta variable resulta clave porque influye directamente en la impregnación, afectando la porosidad, expansión y eliminación de gases y líquidos nativos.

El tiempo de vacío se refiere al periodo durante el cual se mantiene una presión inferior a la atmosférica dentro de la cámara de vacío, lo que permite eliminar aire y otros gases. Este proceso facilita la absorción y distribución del líquido de impregnación en el alimento, motivo por el cual se suele trabajar con lapsos controlados. Posteriormente, el tiempo de restauración se define como el momento en que se restablece la presión atmosférica tras el vacío, generando un gradiente de presión que impulsa la incorporación de la solución de impregnación (Durán-Castañeda et al., 2024).

La solución de impregnación está determinada por sus propiedades fisicoquímicas, entre ellas la viscosidad, concentración y solubilidad de solutos. Estas características influyen en la eficiencia del proceso, ya que a viscosidades demasiados bajas o altas dificultan la impregnación, mientras que concentraciones elevadas pueden causar deshidratación osmótica y colapso de poros. En contraste, los solutos de bajo peso molecular y alta solubilidad mejoran la penetración en la matriz (Durán-Castañeda et al., 2024).

Por otro lado, es importante destacar que la selección de la solución para la impregnación al vacío (VI), es necesario considerar factores como la ausencia de toxicidad, propiedades sensoriales adecuadas, alta solubilidad y un costo accesible. En términos generales, cualquier soluto o solvente que sea soluble y miscible puede emplearse en este proceso. Los más comunes que destaca Zhao & Xie (2004) se encuentran jarabes de almidón, glicerol, etanol, polioles, lactosa, maltodextrina, trehalosa, L-lisina, caseína, glutamato

monosódico, así como mezclas de estos compuestos, por ejemplo, combinaciones de glucosa con sacarosa, glicerol con sacarosa o sacarosa con sal.

Finalmente, la relación solución-muestra se define como la proporción entre el volumen de solución y la masa del alimento es crucial para una impregnación uniforme y eficiente. Una cantidad insuficiente de solución puede limitar la penetración, mientras que una relación adecuada favorece el flujo hacia los poros del alimento. Esta variable depende de características físicas del alimento y aún requiere mayor estudio para optimizar el proceso (Durán-Castañeda et al., 2024)

Capítulo 2

2. Metodología.

2.1 Materiales y químicos Diseño experimental

Para el desarrollo de este proyecto se realizaron pruebas en las cuales se estableció las variables de trabajo. Con este fin, se llevó a cabo un diseño factorial de 2^2 considerando el siguiente desglose:

Tabla 1

Factores de medición (Variables independientes)

Factor A: Método de aplicación:	Factor B: Concentración del extracto:
A1: Inmersión	B1: 1.5%
A2: Impregnación al vacío	B2: 3.0%

Para el factor A1, se tomó como referencia el estudio de Márquez Cardozo et al. (2015) donde emplea el método de inmersión, para el cual aplicó un tiempo de inmersión de 3 minutos. Mientras que para el factor A2, según el tiempo óptimo para la aplicación de IV de 2 ciclos por 90 s cada uno, siendo un total de 3 minutos, para así no tener pérdidas significativas en la firmeza del producto. Finalmente, el valor de presión aplicada fue de -1 bar.

En cuanto al factor B , correspondiente a la concentración del extracto, se seleccionaron los niveles con el propósito de evaluar su efecto antifúngico en la fruta y determinar su capacidad para retrasar el proceso de maduración. El tiempo de medición no se consideró como variable del dentro del diseño experimental sino como variable de seguimiento. Las mediciones se realizaron los días 0,1,4,8,10 y 12.

Para los análisis físicos como color (L^* , a^* , b^*), pérdida de peso, dureza, incidencia de antracnosis (frutos o áreas infectadas). Mientras que para los análisis químicos se realizó la medición de los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), pH y actividad de agua en la cáscara. Y para los análisis microbiológicos, crecimiento o desarrollo del hongo.

2.2 Materiales vegetales y químicos

Para la elaboración del presente proyecto se trabajó con 20,8 kg de bananas (Cavendish) verde obtenidas de una empresa que se dedica a la exportación de esta fruta. Para la extracción de las semillas de aguacate (tanto para la extracción del concentrado y el almidón), se adquirieron aguacates *Hass* (en un centro comercial de la ciudad de Guayaquil). El almidón de yuca se adquirió en Manabí, mientras que los químicos como el metabisulfito, el etanol y el glicerol se compraron en el Laboratorio Cevallos. Finalmente, el agua destilada se adquirió en Casa Químico de la ciudad de Guayaquil.

2.3 Recepción y preparación de las semillas de aguacate

Se adquirieron aguacates en estado de maduración 3 (ver ANEXO) y se seleccionaron únicamente aquellos frutos que presentaban condiciones óptimas para el análisis. La pulpa fue separada manualmente y las semillas fueron lavadas para eliminar residuos de tejido adherido. Posteriormente, se sometieron a un proceso de secado a temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 48 h, con el propósito de reducir el contenido de humedad. Una vez transcurrido este tiempo, se procedió a la remoción del tegumento de las semillas para su posterior utilización.

2.4 Obtención de extracto de la semilla de aguacate

Las semillas previamente secadas fueron sometidas a un proceso de rallado y posteriormente maceradas durante 48 h en refrigeración a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ver en el Apéndice A), siguiendo la metodología descrita por Beltrán (2024). Para la extracción, se emplearon 368,8 g de ralladura de semilla, 600 mL de etanol al 99 % (v/v) y 400 mL de agua destilada. La mezcla se transfirió a un vaso de precipitados y se sometió a agitación constante durante 15 min. Posteriormente, se dejó en reposo por un periodo de 2 h. Finalizado este tiempo, la muestra fue filtrada y el extracto obtenido se colocó en matraces del equipo rotavapor, con el fin de eliminar el etanol residual. El proceso de destilación se llevó a cabo a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 h 38 min por matraz.

2.5 Proceso extracción del almidón:

Este procedimiento se realizó en base a lo descrito en el trabajo de Beltrán (2024). Las semillas previamente secadas fueron ralladas y sometidas a maceración en una solución de agua destilada y metabisulfito de sodio al 0,2 % (v/v) durante 24 h bajo refrigeración a 4 °C (ver Apéndice A). Finalizado este periodo, la mezcla fue filtrada mediante tela para remover residuos sólidos, y la solución resultante se dejó en decantación durante 24 h. Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas en una centrífuga refrigerada (Centrifuge 5430 R) en tubos de 50 mL durante 12 min a 12 °C y 1110 rcf, descartando el sobrenadante. El almidón obtenido fue secado en una estufa (Thermo SCIENTIFIC 3511) a 40 °C durante 12 h y almacenado en un recipiente estéril para su posterior utilización. Previo a la aplicación del recubrimiento, los frutos fueron lavados y desinfectados en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % durante 30 min.

2.6 Formulación y aplicación de soluciones

Para la formulación del recubrimiento se empleó una mezcla de almidón de yuca (componente mayoritario) y almidón de semilla de aguacate (componente minoritario), manteniendo entre tratamientos una proporción prácticamente constante de 1 parte de almidón de aguacate por cada 75–80 partes de almidón de yuca. Posteriormente, el agua se calentó hasta alcanzar una temperatura de 65 °C, momento en el cual se incorporaron ambos almidones con el fin de prevenir su gelatinización prematura. Este procedimiento se definió a partir de pruebas preliminares, en las que se evidenció que, al añadir los almidones a temperaturas superiores, la mezcla adquiriría una elevada viscosidad y presentaba formación excesiva de grumos.

En primer lugar, se adicionó el almidón de yuca, seguido del almidón de semilla de aguacate, manteniendo la mezcla bajo agitación constante durante 10 min hasta lograr la gelatinización del almidón. A continuación, la mezcla fue retirada de la fuente de calor y enfriada hasta alcanzar una temperatura aproximada de 50 °C, punto en el cual se incorporaron la glicerina, el extracto (1,5 % para los tratamientos T1IV y T1INMER, y 3 % para los tratamientos T2IV y

T2INMER) y el vinagre. Seguidamente, se homogenizó la mezcla con el fin de obtener una consistencia uniforme y se procedió a la aplicación de los diferentes métodos (ver Apéndice B). Las cantidades utilizadas en cada tratamiento se presentan en la Tabla 3.

Tabla 2

Descripción de cada uno de los tratamientos para el recubrimiento

Tratamiento	Volumen (mL)	Almidón Yuca (g)	Almidón Aguacate (g)	Extracto (mL)	Glicerol (mL)	Vinagre (mL)	Agua (mL aprox.)
T1 (IM 1.5%)	1691,44	86,18	1,15	25	12,69	16,42	1550
T2 (IM 3.0%)	1729,33	85	1,33	46,5	31	15,5	1550
T3 (IV 1.5%)	2697,68	127,6	1,33	37,5	18,75	12,5	2500
T4 (IV 3.0%)	2758,84	122,9	1,54	67,2	44,8	22,4	2500

El tiempo de inmersión por banana fue de 2 minutos. Mientras que, para la IV fue de 3 min a una presión de -1 bar (ORIGINAL HENKELMANVACUUM SYSTEMS – BOXER 42XL). Para ello, los frutos fueron dispuestos en bandejas y sumergidos completamente antes de su colocación en el equipo. (Ver Apéndice B).

Una vez colocado el recubrimiento, las muestras se dejaron a temperatura de 24 °C y a una HR de 46% en el Laboratorio de Procesamiento de Alimentos en la ESPOL, donde se hizo un control de las variables respuesta cada 4 días.

2.7 Análisis físicos

Los análisis realizados se llevaron a cabo con base de la metodología propuesta por Márquez Cardozo et al. (2015). Para la evaluación del color se utilizó un colorímetro digital (3nh – nh300), previamente calibrado, que permitió registrar los parámetros del sistema CIE Lab* (valores que se miden entre 0 – oscuro- y 100 – claro-), a^* (valor que va del rango entre rojo a verde) y b^* (va del rango de azul a amarillo). Las mediciones se realizaron cada 4 días (0, 1, 4, 8 y 12) en cada fruto de banano, considerando duplicados para cada tratamiento. En cuanto a la pérdida de peso, se determinó registrando el peso inicial de cada muestra en una balanza analítica

y efectuando controles en cada intervalo de evaluación. La variación de peso se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100$$

Formula 1.

Donde:

W_0 : peso inicial.

W_t : peso final.

Finalmente, para el parámetro de la firmeza, se midió a partir de una prueba de compresión unidireccional con ayuda de un texturómetro (CT3- BROOKFIELD), equipado con una sonda cilíndrica de acero inoxidable (TA39) de 2 mm de diámetro. El ensayo se ejecutó a una velocidad de 2 mm/s, con una penetración de 5 mm por ciclo. Para cada fruto se realizaron tres mediciones en la región central con cáscara. Se aplicó una carga de activación de 3 N y los resultados se expresaron como la fuerza máxima de penetración, reportada en Newton (N); según lo indicado en el trabajo de investigación de Márquez Cardozo et al. (2015) y Jaiswal et al. (2012).

2.8 Análisis químicos

El análisis químico ayudó a la determinación de los °Brix, pH y Aw de la pulpa. El contenido de sólidos solubles se determinó mediante un refractómetro, utilizando 20 g de pulpa de banano. Dado que los frutos se encontraban en estado 1 de maduración, la pulpa fue previamente rallada para facilitar la obtención del jugo y permitir una medición precisa. Mientras que el **pH**, se evaluó este análisis con 20 g de pulpa de cada tratamiento y 100 ml de agua destilada para cada muestra, empleando un potenciómetro.

Finalmente, la actividad de agua de la pulpa, se tomaron 5 g de pulpa de banano, los cuales se colocaron en el equipo de medición (AQUA LAB) durante 3 min por muestra.

2.9 Análisis microbiológicos

Para el análisis de este parámetro, se trabajó con ayuda del proyecto de Beltrán (2024). El hongo *Colletotrichum spp.* fue aislado a partir de una lesión típica de antracnosis en frutos de banano (Cavendish) y se cultivó en medio PDA (Papa Dextrosa Agar) hasta obtener un crecimiento micelial activo. Las placas de cultivo se incubaron a 25 °C bajo condiciones controladas. Con el fin de evaluar el efecto antifúngico del extracto etanólico de semilla de aguacate, se prepararon medios PDA suplementados con concentraciones de 5 % y 10 % del extracto, empleándose como control el medio sin adición de este.

La velocidad de crecimiento radial de las colonias se midió periódicamente, siendo la primera fecha de medición al cuarto día (23 de junio del 2025). Previo a la obtención del extracto de semilla de aguacate, se prepararon cuatro fiolas con 125 mL de agar PDA, las cuales fueron esterilizadas en autoclave de manera independiente.

Posteriormente, el extracto se incorporó en tres de las fiolas de agar para alcanzar concentraciones de 5 % y 10 %, mientras que la cuarta se utilizó como control (muestra blanca). Estas disoluciones fueron plaqueadas el mismo día, obteniéndose un total de 20 placas, las cuales se almacenaron en la cámara de refrigeración para material estéril del laboratorio, a 4 °C.

Durante el periodo de almacenamiento se efectuaron mediciones periódicas en cada placa con el fin de monitorear la evolución del crecimiento micelial. Finalmente, los resultados fueron comparados entre tratamientos para determinar el grado de inhibición generado por el extracto.

Capítulo 3

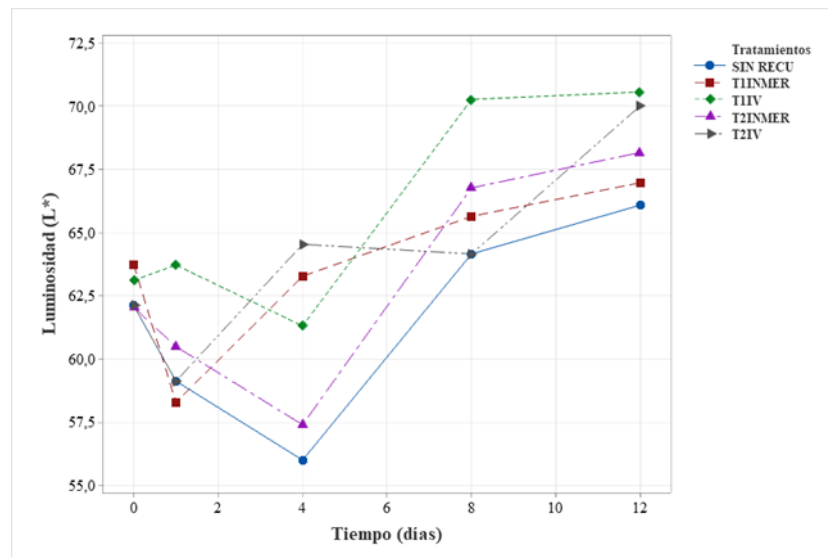
3. Resultados y análisis

3.1 Análisis de color

Para estudiar el análisis de la variación de color en las bananas con recubrimiento, se hizo un seguimiento cada 4 días (0,1,4,8 y 12) a una temperatura de almacenamiento de 24 °C y a una HR del 46%. En la Figura 2 se muestra la influencia del recubrimiento con cada una de las variables establecidas previas al estudio.

Figura 2

Efecto del Tiempo respecto a la Luminosidad (L^) en las bananas con y sin recubrimiento.*



A medida que pasa el tiempo, la muestra de control (SIN RECU), como se puede observar en la Figura 2, tiene una tendencia en el incremento de su coloración, es decir, pasa de una tonalidad verde a un amarillo claro, y esto ocurre como una respuesta en la degradación de la clorofila (Thakur et al., 2019).

Por el contrario, aquellos frutos que tuvieron un recubrimiento, como es el caso de los tratamientos de IV y de inmersión, fue notorio que mantuvieron valores menores de luminosidad que fueron aumentando gradualmente y ralentizando así la aparición de la tonalidad amarillenta. Sin embargo, el tratamiento de mayor estabilidad, según la gráfica, fue el T2IV (3% de extracto), lo cual pudo ser gracias a que este método de aplicación permitió una mayor penetración del

recubrimiento y retrasó los cambios metabólicos en la fruta durante la etapa de maduración (Senturk Parreidt et al., 2018).

Además, con ese porcentaje de extracto se evidenció que esta concentración ayudó a mantener la coloración evitando su rápida degradación y dando un buen aspecto a la fruta (Ver Apéndice C).

Para Thakur et al. (2019) esto puede deberse a que el recubrimiento actúa como una barrera protectora en donde existe una reducción de la tasa de transferencia de gas. Por otro lado, el material del recubrimiento también influye en el tema de la coloración.

Los estudios de Vázquez & Guerrero (2013) indican que estos revestimientos a base de almidón ayudan a retrasar la degradación de la clorofila en las frutas obstaculizando que haya una pigmentación y pardeamiento enzimático de manera acelerada.

Siguiendo con la descripción del proceso, se realizó un análisis estadístico que mostró variaciones significativas (L^*) en función al tiempo de almacenamiento y al tratamiento aplicado ($p < 0,05$). Como se muestra en la Figura 2, en todos los tratamientos se evidenciaron una pérdida mínima de luminosidad en los primeros días (0,1 y 4) a causa de la degradación de la clorofila.

En los días 8 y 12, el cambio en el color de la fruta fue más notorio. Sin embargo, las bananas sin recubrimiento obtuvieron valores bajos de luminosidad y esto reflejó el proceso acelerado de la maduración, al no tener una barrera de protección se produjeron los cambios fisicoquímicos con mayor rapidez.

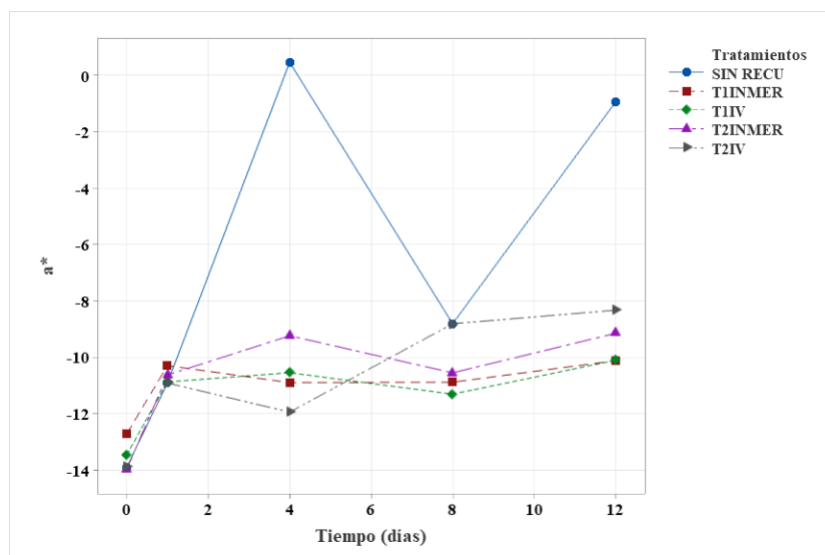
Estos resultados se pueden corroborar con lo indicado por Sánchez-González et al. (2011) donde describen que los recubrimientos actúan como una capa protectora, pues limita la transferencia de agua y oxígeno favorecen a mantener la estabilidad del color en las frutas. A su vez, se identificó que el extracto de la semilla de aguacate ayudó a mantener una buena colocación del banano gracias a los compuestos fenólicos y antioxidantes que posee la semilla (Rodríguez-

Carpena et al., 2011); que reducen la oxidación de la clorofila y retardan la síntesis de los carotenoides responsables del cambio de color.

Como segundo aspecto, se analizaron los cambios de los parámetros a^* y b^* . En la Figura 3 se presenta la gráfica para el primer parámetro, el cual es un indicador de la transición que hay del cambio del color verde. Las frutas sin recubrimiento presentaron un incremento acelerado de a^* , evidenciando una pérdida rápida de esta coloración, mientras que aquellas bananas con revestimiento, especialmente las del T2IV (con una concentración del 3% de extracto), preservaron el color verde por más tiempo (Ver Apéndice C).

Figura 3

Cambios en el parámetro a^ en función del tiempo de almacenamiento para los distintos tratamientos*

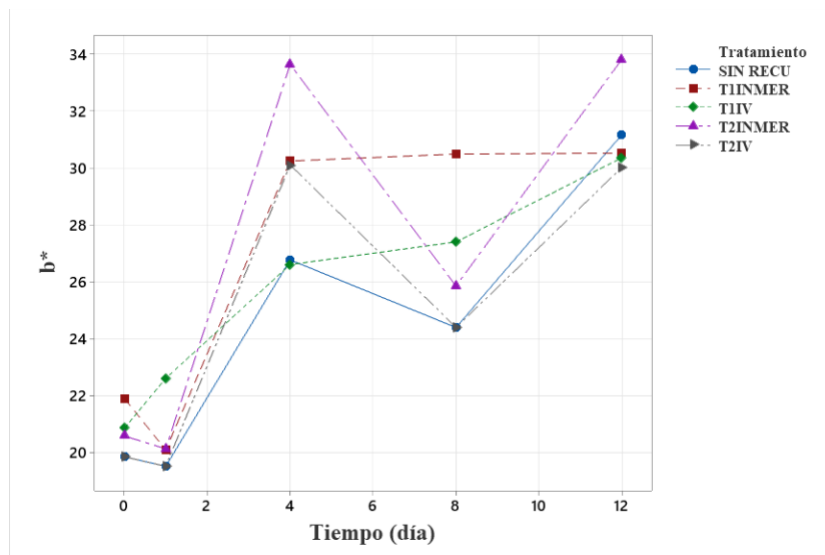


Por su parte, el parámetro b^* es un indicador asociado al cambio de tonalidades amarillas, mostró un comportamiento dependiente del tiempo y tratamiento aplicado. Según la figura 4, los frutos sin recubrimiento presentaron un aumento marcado del parámetro b^* , lo cual indica una maduración más rápida a comparación de las bananas con recubrimiento que mostraron un incremento progresivo del color amarillo, especialmente aquellas del T2IV (3%). Esto indica que

el método de aplicación y la concentración del extracto influye en la capacidad del recubrimiento para controlar la evolución del color en la cáscara de banano.

Figura 4

Cambios en el parámetro b^ en función del tiempo de almacenamiento para los distintos tratamientos*



Estos resultados comprueban que los recubrimientos con extracto de semilla de aguacate contribuyen a retrasar la degradación de clorofila y síntesis de carotenoides, en concordancia con lo reportado por de Rodríguez-Carpena et al. (2011) y Sánchez-González et al. (2011). Cabe destacar que estos recubrimientos también aportan brillo en su estructura física.

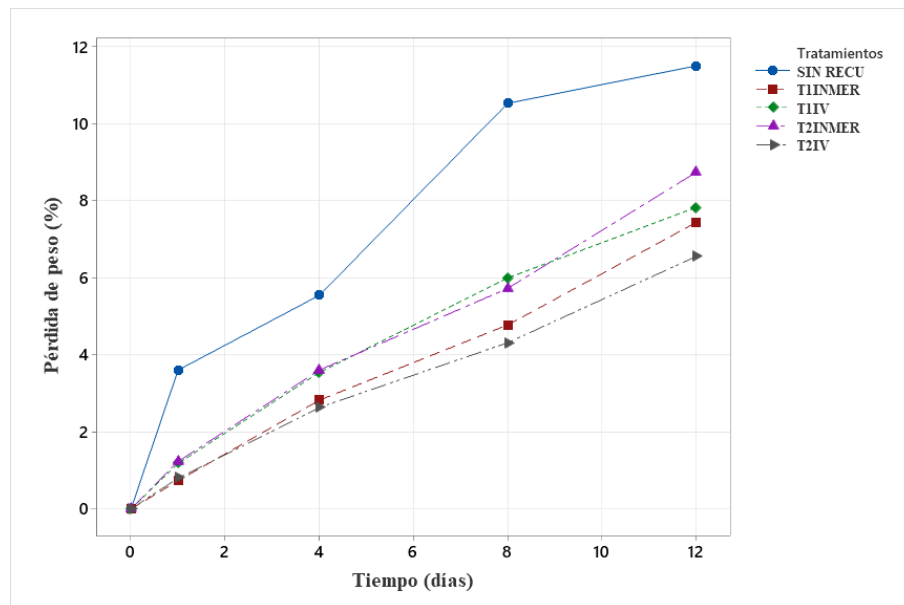
3.2 Pérdida de peso y disminución del contenido de humedad

En la figura 5, se observa una pérdida de peso progresiva durante los 12 días de almacenamiento, resultado esperado debido al proceso fisiológico natural de maduración. Este comportamiento está directamente asociado con la disminución del contenido de humedad, derivada principalmente de los procesos de respiración y transpiración. En este sentido, las frutas sin recubrimiento presentaron una mayor pérdida de peso, alcanzando valores superiores al 11 %. En contraste, los frutos con revestimiento mostraron una reducción más moderada, destacándose el Tratamiento 2 por IV (3 % de extracto), el cual mantuvo la pérdida de peso por debajo del 7 %. Con estos resultados se demuestra que en efecto, el recubrimiento actúa como una barrera de protección ante la pérdida de peso dado que limita el proceso de transpiración y el intercambio de

los gases, reduciendo así la deshidratación de la fruta y prolongando su periodo de vida útil (Baldwin et al., 2012).

Figura 5

Cambios de la pérdida de peso (%) referente al tiempo de almacenamiento



3.3 Firmeza de la cáscara

El análisis de este parámetro es fundamental para evaluar la resistencia mecánica del fruto y su capacidad de protección frente a daños físicos y microorganismos durante el almacenamiento (Céspedes et al., 2010).

En la figura 6, se observa que todos los tratamientos presentan una disminución progresiva en los valores de dureza de la cáscara, lo cual se asocia a la maduración de la fruta, caracterizado por la deshidratación y por el ablandamiento de la estructura de la pared celular en esta etapa (Thakur et al., 2019). No obstante, la magnitud de esta disminución difirió según el tratamiento aplicado.

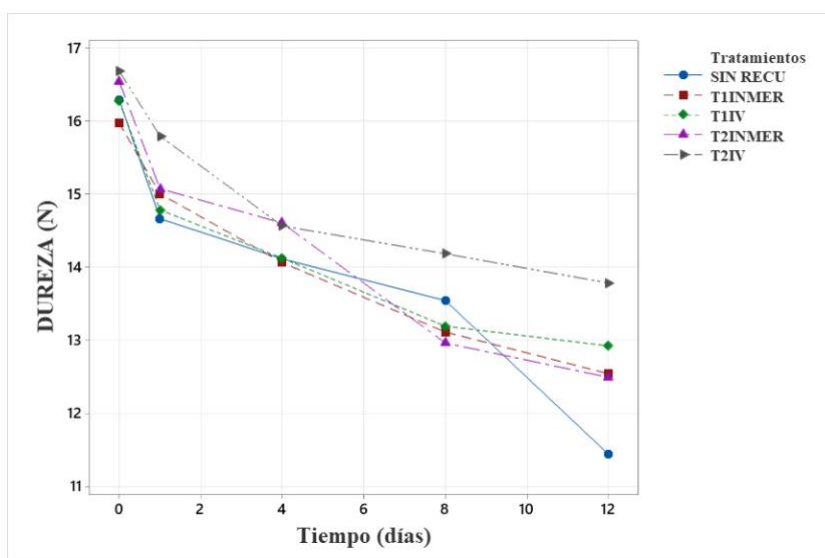
Las bananas sin recubrimiento mostraron una pérdida de firmeza más significativa, alcanzando valores más bajos hacia el día 12, lo que evidencia un mayor grado de maduración y menor periodo de vida útil. Por otro lado, los tratamientos con recubrimiento mediante IV (T1IV y T2IV) presentaron una mejor conservación en esta característica, especialmente el segundo

tratamiento. Lo cual refleja la efectividad del método de aplicación y como se ha venido explicando, la IV favorece a una distribución homogénea del recubrimiento y una mayor penetración del extracto de semilla de aguacate en la matriz de la fruta, ayudando así a retardar la maduración y por ende la pérdida de firmeza.

Estos resultados concuerdan con los de la investigación de Ruiz Medina et al. (2025). Dicho estudio menciona que los recubrimientos formulados con almidón y glicerol favorecieron a la preservación de la estructura del fruto, logrando retardar el ablandamiento de los tejidos durante la etapa de almacenamiento.

Figura 6.

Efecto del recubrimiento sobre la dureza de las bananas a lo largo del tiempo de almacenamiento.



3.4 °Brix

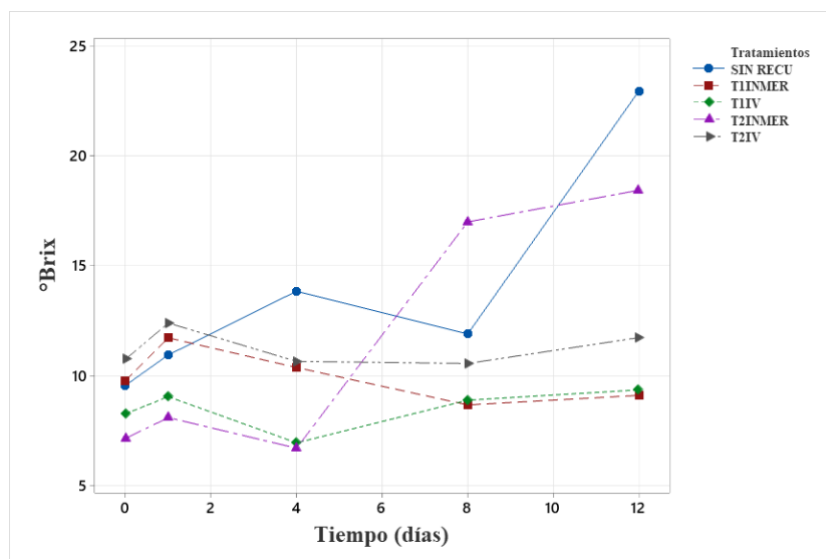
Con relación a este indicador, en la Figura 7 se observa un incremento progresivo en todos los tratamientos durante los días de almacenamiento. Este comportamiento corresponde al proceso natural maduración de las frutas. Según lo señalado por Hailu et al. (2013), los azúcares presentes en la pulpa de la banana en estado verde se encuentran en cantidades reducidas, pero aumentan conforme avanza la maduración. En las fases iniciales de este proceso, la sacarosa es el

carbohidrato más abundante en la pulpa, la cual posteriormente da lugar a la formación de glucosa y la fructuosa.

En este proyecto, la cantidad de °Brix aumentó de manera diferenciada en los tratamientos, dependiendo del método de aplicación y de la concentración de extracto.

Figura 7.

Cambios de los °Brix en función del tiempo de almacenamiento para los distintos tratamientos



Para el caso de las frutas sin recubrimiento, se evidenció un incremento más marcado en indicador, llegando a unos valores cercanos a los 23 °Brix. Este comportamiento se atribuye a la ausencia de una barrera protectora y de compuestos con efecto retardante, lo que favorece una maduración acelerada y, en consecuencia, una vida útil más corta.

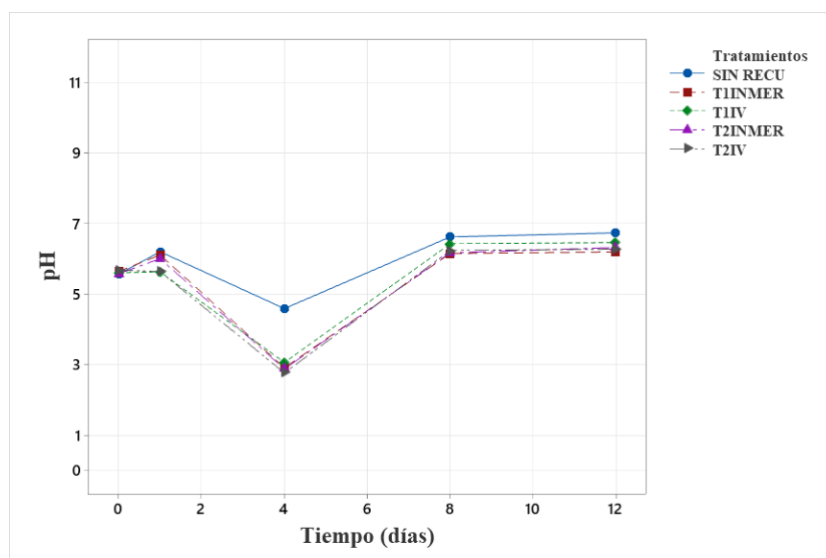
Por otro lado, para las bananas con revestimiento mostraron un retraso en el incremento de los sólidos solubles, siendo este efecto más evidente en los tratamientos sometidos a la IV. En particular, el tratamiento T1IV mantuvo valores cercanos a 9–10 °Brix al final del periodo de almacenamiento. Estos resultados sugieren que la aplicación mediante la IV resulta más efectiva que el método por inmersión. Esto probablemente se deba a que la IV facilita una mejor adhesión y penetración del recubrimiento en la matriz del fruto. De esta manera, se forma una barrera más efectiva y prolongando su vida útil. (Senturk Parreidt et al., 2018).

3.5 pH

Este parámetro químico es un indicador importante dentro de este estudio dado que refleja la concentración de los ácidos orgánicos presentes en la pulpa de la fruta como es el caso del ácido málico, cítrico y oxálico (Dadzie & Orchard, 1997; Hailu et al., 2013). En la figura 8 se puede observar que existe una disminución del pH de forma considerable en todos los tratamientos en el día 4, lo cual se encuentra asociado con una acumulación de los ácidos presentes en el banano. A diferencia de lo que ocurre en el día 8, donde se ve un aumento progresivo del pH, lo cual se relacionó con la degradación de los ácidos presentes en las frutas durante los procesos metabólicos de la etapa de maduración.

Figura 8

Cambios del pH en función del tiempo de almacenamiento en los distintos tratamientos



Al comparar los tratamientos, se identificó que las bananas sin recubrimiento alcanzaron valores de pH superiores a los de los frutos sometidos a los diferentes tratamientos. Esta tendencia fue más evidente en los días 8 y 12 de almacenamiento, lo que evidencia una pérdida de acidez más acelerada en dichas muestras.

En contraste, los frutos recubiertos, especialmente los correspondientes al tratamiento T2IV (3 % de extracto), mantuvieron valores de pH más estables. Este efecto se atribuye probablemente a la interacción del extracto con el almidón, ya que la formación del recubrimiento

genera una barrera semipermeable frente al intercambio de gases y humedad, regulando la respiración y retrasando los cambios asociados a la acidez (Baldwin et al., 2012; Dhall, 2013). Mientras que los del T1INMER (1,5%) mantuvieron valores más bajos al final del almacenamiento.

Por otro lado, al comparar los métodos de aplicación, se evidenció que aquellos frutos recubiertos por el método de inmersión presentaron un aumento de pH más estable a lo largo del almacenamiento, mientras que los que fueron sometidos a IV mostraron una tendencia ligeramente más marcada en el incremento de este parámetro durante los últimos días de almacenamiento. Esto sugiere que, en el caso de la inmersión, el recubrimiento logró distribuirse de manera más uniforme sobre la superficie del fruto, mientras que, en la IV, si bien se favoreció una mayor adhesión, no se alcanzó la misma estabilidad de pH.

No obstante, en ambos métodos los tratamientos con mayor concentración de extracto (3 %) resultaron más efectivos en retrasar el aumento de este indicador, lo que refleja la acción de los compuestos bioactivos presentes en la semilla de aguacate, en combinación con los almidones de yuca y aguacate. Dichos compuestos contribuyen a la actividad antioxidante y antifúngica del recubrimiento, favoreciendo la conservación de la fruta en condiciones óptimas (Moradinezhad et al., 2025).

3.6 Actividad de agua

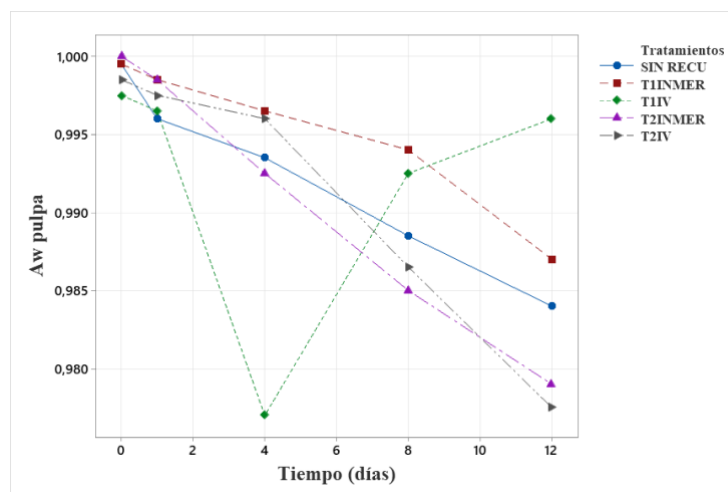
Como se puede observar en la figura 9, este parámetro mostro una tendencia descendente en todos los tratamientos a lo largo de los días de almacenamiento, lo cual indica una pérdida progresiva de humedad y un avance en su estado de maduración. Para el caso de las frutas sin recubrimiento, se refleja una reducción más marcada, lo cual confirma que ha ido perdiendo agua.

Por otro lado, las bananas que tienen recubrimiento logran amortiguar la disminución de la A_w , siendo más notorio este cambio en el T2IV (3% de extracto) donde al día 12 alcanzó un valor

mínimo de 0,978. Esto indica que el método de aplicación si influye directamente en la eficacia del recubrimiento. Como se ha mencionado anteriormente, la IV aporta con una barrera más homogénea en la superficie de la fruta lo cual le permite limitar la pérdida de agua libre a comparación del método de inmersión.

Figura 9

Cambios de la Aw respecto al tiempo de almacenamiento para cada uno de los tratamientos aplicados



Estos resultados concuerdan con lo estudiado por Olivas & Barbosa-Cánovas (2005), donde mencionan que los recubrimientos actúan como barreras semipermeables logrando reducir la pérdida de humedad en las frutas. Además, según lo investigado por Gautam et al. (2024) la IV permite de manera uniforme una rápida introducción del recubrimiento en la matriz alimentaria mediante el uso de un mecanismo hidrodinámico, otorgándole así una serie de ventajas frente a otros métodos tradicionales como es el caso de la Inmersión.

3.7 Análisis microbiológico del extracto de la semilla de aguacate

Los resultados evidencian que el extracto etanólico de semilla de aguacate inhibió de manera significativa el crecimiento micelial de *Colletotrichum spp.* en comparación con la muestra de control. En el medio sin extracto (blanco), las colonias alcanzaron diámetros superiores a 1.7–2.0 cm en los primeros días, mientras que en el tratamiento con 5% de extracto los valores fueron

menores (1.0–1.3 cm), mostrando un efecto fungistático inicial. La inhibición fue más marcada en el tratamiento al 10%, donde el crecimiento se redujo hasta 0.6–0.8 cm en la mayoría de las placas.

Es importante mencionar que algunas réplicas presentaron contaminación con otros microorganismos, por lo cual fueron descartadas para evitar sesgos en los resultados. Estos hallazgos coinciden con lo descrito por Beltrán (2024), quien reportó que extractos de semilla de aguacate disminuyen el desarrollo de *Fusarium oxysporum* en medios de cultivo, reforzando la idea de que este subproducto agroindustrial posee compuestos bioactivos con capacidad antifúngica.

En conjunto, los datos confirman que concentraciones crecientes del extracto potencian la acción inhibidora frente a *Colletotrichum spp.*, validando su potencial como base para recubrimientos postcosecha.

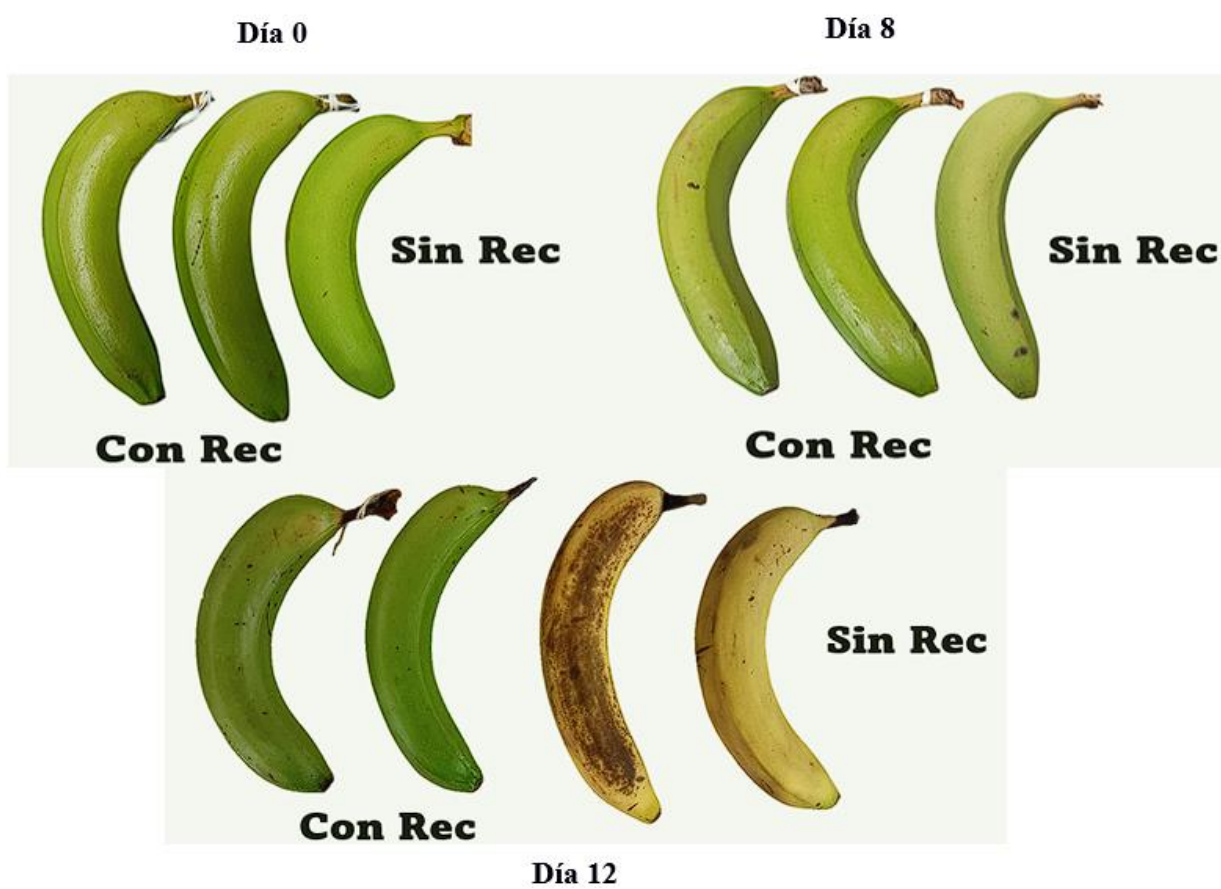
3.8 Análisis de incidencia de antracnosis en la superficie de la fruta

Durante el periodo de almacenamiento se evidenció una marcada diferencia en la incidencia de antracnosis entre los frutos con recubrimiento y aquellos sin él. Los bananos recubiertos conservaron una apariencia externa uniforme, con predominio del color verde y un menor desarrollo de lesiones visibles, como se aprecia en la Figura 10. Asimismo, presentaron un brillo superficial característico, lo que sugiere que la combinación del extracto con los almidones favoreció la formación de una barrera semipermeable. Esta barrera contribuyó a mantener la fruta en condiciones óptimas, reduciendo el avance de la enfermedad y prolongando su vida útil.

Además, de Esto se puede corroborar con la redactado por Olivas & Barbosa-Cánovas (2005). En contraste, los frutos sin recubrimiento mostraron una incidencia evidente de antracnosis, manifestada por una rápida transición hacia tonalidades amarillentas y la aparición de manchas oscuras características de la enfermedad, lo que refleja un proceso acelerado de deterioro.

Figura 10.

Incidencia de la antracnosis sobre las bananas con y sin tratamiento



Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Según el análisis de los resultados obtenidos para cada tratamiento (IV e Inmersión) durante el estudio de vida útil,

- El extracto de la semilla de aguacate Hass se obtiene de manera exitosa y su incorporación en el recubrimiento permite aprovechar sus propiedades antifúngicas, contribuyendo a la protección del fruto durante el almacenamiento.
- La formulación del recubrimiento a base de una mezcla entre almidón de yuca y una fracción mínima de aguacate, junto con el glicerol y el vinagre, dan lugar a una película semipermeable que reduce la pérdida de peso, mantienen la firmeza y retrasa los cambios de color en la cáscara.
- Los ensayos fisicoquímicos demuestran que los tratamientos con recubrimiento, especialmente los que se aplicaron mediante la técnica de IV con 3% de extracto de la semilla de aguacate, conservan mejor la dureza, presentan un menor incremento en los sólidos solubles (°Brix), ralentizan el cambio de color (L^* , a^* y b^*) y mantienen controlada la A_w en comparación de aquellas bananas sin recubrimiento.
- El método de aplicación de la IV resultó ser más eficaz que la inmersión, gracias a su capacidad de asegurar una distribución más uniforme del recubrimiento en la superficie de las frutas lo cual se puede evidenciar en cada uno de los tratamientos.
- Los resultados muestran que el extracto etanólico de semilla de aguacate ejerce un efecto inhibitorio sobre *Colletotrichum spp.*, reduciendo su crecimiento en los tratamientos 5% y 10% en comparación con la muestra de control. No obstante, la segunda concentración es la que muestra mejores resultados. Confirmando así que este extracto tiene potencial para ser utilizado como alternativa natural para esta enfermedad en las bananas.

4.1.2 Recomendaciones

- Trabajar con concentraciones mayores del extracto de la semilla de aguacate para verificar su comportamiento en los diferentes parámetros analizados.
- Comparar diferentes matrices para la elaboración de recubrimiento tales como almidón de papa o maíz. Además, evaluar su mezcla con otros polisacáridos filmogénicos como pectina, alginato o quitosano para poder analizar su efecto antimicrobiano.
- Medir y analizar las propiedades del recubrimiento como espesor y propiedades de barrera (permeabilidad frente al CO₂/ O₂).
- Someter las bananas con recubrimiento a diferentes temperaturas y HR de almacenamiento para analizar en qué condiciones se puede prolongar por más tiempo su periodo de vida útil.
- Llevar un mejor control de la inoculación del hongo para evitar contaminación con otros microorganismos.

REFERENCIAS

- Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). La economía mundial del banano. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 1–13.
- Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., & Bai, J. (2012). Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. *CRC PRESS*, 16–20.
- Bazzo, A. (2015). *Aplicação e caracterização do caroço de abacate (persea americana mill) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/117661>
- Beltrán, A. (2024). *FUNGICIDA A BASE DE LA SEMILLA DE AGUACATE* [FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA]. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1ee5c34f-fe53-4017-829c-741e0b9cf3f4/content>
- Céspedes, C., Tapia, A., & Calvo, P. (2010). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE FRUTA DE BANANO DE ALTURA QUE SE PRODUCE EN EL CANTÓN DE TURRIALBA, COSTA RICA. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 20, 107–127. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66619992007>
- da Costa, A. C., de Miranda, R. F., Costa, F. A., & Ulhoa, C. J. (2021). Potential of *Trichoderma piluliferum* as a biocontrol agent of *Colletotrichum musae* in banana fruits. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 34, 102028. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2021.102028>
- Dadzie, B. K., & Orchard, J. E. (1997). *Inibap Technical Guidelines 2 Routine Post-Harvest Screening of Banana/Plantain Hybrids: Criteria and Methods*.
- de Dios Avila, N., Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., Luna Esquivel, G., Estrada Virgen, M. O., Cambero Campos, O. J., de Dios Avila, N., Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., Luna Esquivel, G., Estrada Virgen, M. O., & Cambero Campos, O. J. (2023). Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustriales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), 2607. https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL24_NUM1_ART:2607
- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>,
- Durán-Castañeda, A. C., González-Moya, S., Sánchez-Burgos, J. A., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Zamora-Gasga, V. M. (2024). Applications of vacuum impregnation as a technology to incorporate functional components in vegetal matrices. *Food Chemistry Advances*, 4, 100579. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100579>

- El Productor. (2025, mayo 22). *El Boom del Banano: Una Fruta que Cambió la Historia y el Comercio Mundial - Ecomex360 | Especialistas en comercio exterior y logística de importaciones en Ecuador*. <https://www.e-comex.com/el-boom-del-banano-una-fruta-que-cambio-la-historia-y-el-comercio-mundial/>
- Fito, P., Andrés, A., Chiralt, A., & Pardo, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27(3), 229–240. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00005-4](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00005-4)
- Gautam, S., Kathuria, D., Hamid, Dobhal, A., & Singh, N. (2024). Vacuum impregnation: Effect on food quality, application and use of novel techniques for improving its efficiency. *Food Chemistry*, 460, 140729. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.140729>
- Gupta, V., Biswas, D., & Roy, S. (2022). *A Comprehensive Review of Biodegradable Polymer-Based Films and Coatings and Their Food Packaging Applications*. <https://doi.org/10.3390/ma15175899>
- Hailu, M., Workneh, T., & Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit - SUNY Empire State College. *African journal of biotechnology*, 12, 635–647. https://onsearch.sunyempire.edu/discovery/fulldisplay?docid=cdi_proquest_miscellaneous_1356929572&context=PC&vid=01SUNY_ESC:01SUNY_ESC&lang=en&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=Everything&query=sub,exact,%20Musa%20,AND&mode=advanced&offset=100
- Herrera, J. (2022). *El aguacate ecuatoriano es un 'boom' en el mercado extranjero | Yara Ecuador*. <https://www.yara.com.ec/noticias-y-eventos/noticias/el-aguacate-ecuadoriano-es-un-boom-en-el-mercado-extranjero2/>
- Jaiswal, P., Jha, S. N., Kaur, P. P., Bhardwaj, R., Singh, A. K., & Wadhawan, V. (2012). Prediction of textural attributes using color values of banana (*Musa sapientum*) during ripening. *Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1179. <https://doi.org/10.1007/S13197-012-0614-2>
- Márquez Cardozo, C. J., Palacín Beltrán, J. R., & Fuentes Berrio, L. (2015). Effect of cassava-starch coatings with ascorbic acid and N-acetylcysteine on the quality of horton plantain (*Musa paradisiaca*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(2), 7689–7701. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V68N2.50985>
- Martins, S. H. F., Pontes, K. V., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100303. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100303>

- Ministerio de Producción, C. E. I. y P. (2024). *ANÁLISIS TRIMESTRAL ENERO-MARZO 2024 COMERCIO EXTERIOR*.
- Moradinezhad, F., Adiba, A., Ranjbar, A., & Dorostkar, M. (2025). Edible Coatings to Prolong the Shelf Life and Improve the Quality of Subtropical Fresh/Fresh-Cut Fruits: A Review. *Horticulturae* 2025, Vol. 11, Page 577, 11(6), 577. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE11060577>
- Muimba-Kankolongo, A. (2018). *Muimba-Kankolongo, A. (2018). Fruit Production. Food Crop Production by Smallholder Farmers in Southern Africa, 275–312. doi:10.1016/b978-0-12-814383-4.00012-8. https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814383-4.00012-8*
- Negrini, F. ; , Baroncelli, R. ; , Baraldi, E., Ciofini, A., Negrini, F., Baroncelli, R., & Baraldi, E. (2022). *Citation: Ciofini, A Management of Post-Harvest Anthracnose: Current Approaches and Future Perspectives. https://doi.org/10.3390/plants11141856*
- Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7–8), 657–670. <https://doi.org/10.1080/10408690490911837>,
- Ossa, V., Gil, M., & Cortés, M. (2023). Impregnación al vacío y sus parámetros operativos: una revisión. *TecnoLógicas*, 26(56), e2605. <https://doi.org/10.22430/22565337.2605>
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., & Estévez, M. (2011). Avocado by-products as inhibitors of color deterioration and lipid and protein oxidation in raw porcine patties subjected to chilled storage. *Meat Science*, 89(2), 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.013>
- Ruiz Medina, M. D., Quimbata Yupangui, Y., & Ruales, J. (2025). Effect of a Protein–Polysaccharide Coating on the Physicochemical Properties of Banana (*Musa paradisiaca*) During Storage. *Coatings* 2025, Vol. 15, Page 812, 15(7), 812. <https://doi.org/10.3390/COATINGS15070812>
- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review. *Food Engineering Reviews*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S12393-010-9031-3>
- Senturk Parreidt, T., Schmid, M., & Müller, K. (2018). Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 83(4), 929–936. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14091>,

- Thakur, R., Pristijono, P., Bowyer, M., Singh, S. P., Scarlett, C. J., Stathopoulos, C. E., & Vuong, Q. V. (2019). A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. *LWT*, *100*, 341–347. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.10.055>
- Vaca, E., Gaibor, N., & Kovács, K. (2020). Analysis of the chain of the banana industry of Ecuador and the European market. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, *14*(1–2). <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2020/1-2/7>
- Vázquez, C. , & Guerrero, A. (2013). *Recubrimientos de frutas con biopelículas*. . 5–17.
- Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(9), 434–451. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2004.01.008>

Apéndice A

Proceso de obtención del extracto y almidón de aguacate

		
		
	Proceso del extracto	
		

Apéndice B

Proceso de recubrimiento de las bananas en sus diferentes tratamientos

Proceso del recubrimiento por inmersión



Proceso del recubrimiento por IV



Apéndice C

Efecto del tiempo respecto a los tratamientos para los parámetros de color

Día 1 para T1IV	Día 12 para T1IV
	
Día 1 para T2IV	Día 12 para T2IV
	
Día 1 para T1INMER	Día 12 para T1INMER
	
Día 1 para T2INMER	Día 12 para T2INMER
	

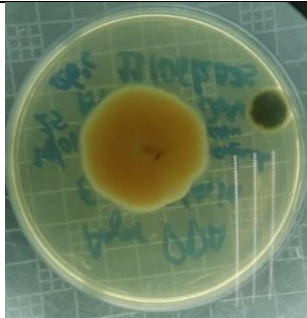
Apéndice D

Análisis microbiológico de las placas en la inoculación del hongo

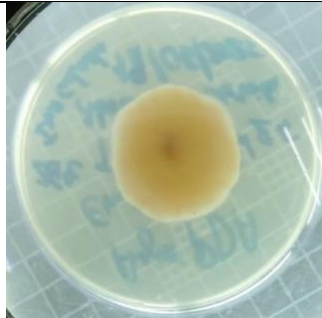


Lesión en pedúnculo de banano.

Cuarto día de crecimiento del hongo en las diferentes placas



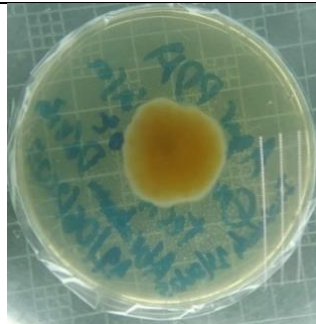
P1 con hongo principal de
diámetro 4 cm y contaminación



P2 con hongo de diámetro 4 cm

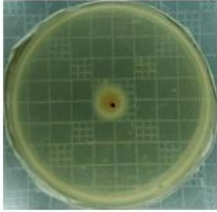
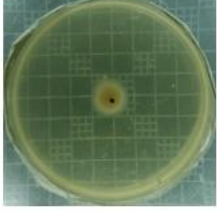
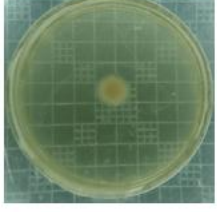
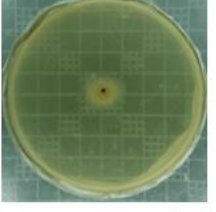
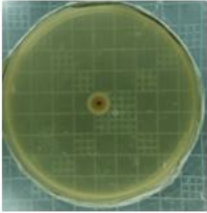
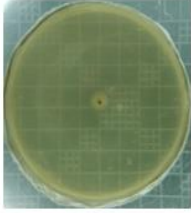
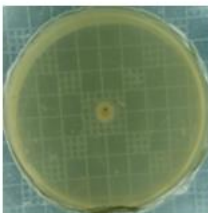
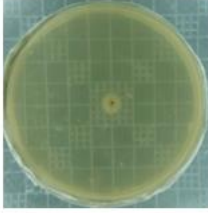
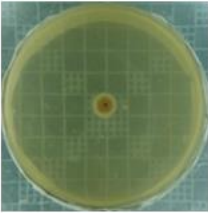
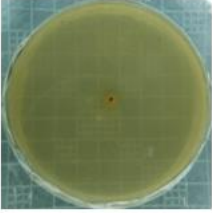
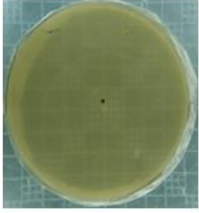
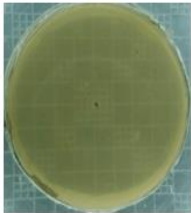
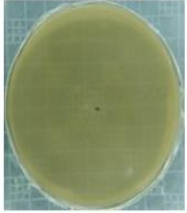


P3 con hongo de diámetro
3.4 cm

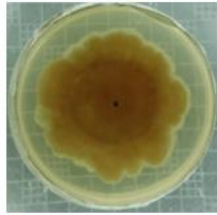


P4 con hongo de diámetro 3.3 cm

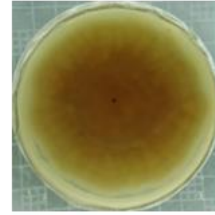
Análisis microbiológico respecto a la concentración de extracto sobre los días de incubación

Día 2 de crecimiento			
 Blanco_1 con 1.8 cm de diámetro.	 Blanco_2 con 1.5 cm de diámetro.	 Blanco_3 con 1.7 cm de diámetro.	 Blanco_4 con 2.0 cm de diámetro.
Placas del tratamiento_1 con 5% de extracto mezclado en el agar			
 Tratamiento_1, placa_1, 1.2 cm de diámetro.	 Tratamiento_1, placa_2, 1 cm de diámetro.	 Tratamiento_1, placa_3, 1.1 cm de diámetro.	 Tratamiento_1, placa_4, 1.1 cm de diámetro.
 Tratamiento_1, placa_5, 1.3 cm de diámetro.			
Placas del tratamiento_2 con 10% de extracto mezclado en el agar			
 Tratamiento_2, Placa_1, diámetro 1.6 cm.	 Tratamiento_2, Placa_2, diámetro 0.6 cm.	 Tratamiento_2, Placa_3, diámetro 0.6 cm.	 Tratamiento_2, Placa_4, diámetro 0.7 cm.

Día 9 de crecimiento - 14 de agosto

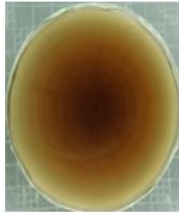


Blanco_1 con 6.8 cm de diámetro.

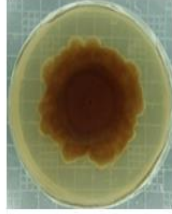


Blanco_5 con 8.2 cm de diámetro.

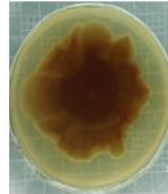
Placas del tratamiento_1 con 5% de extracto mezclado en el agar



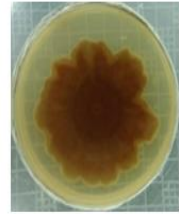
Tratamiento_1, placa_1, 8.5 cm de diámetro (completo).



Tratamiento_1, placa_2, 6.1 cm de diámetro.

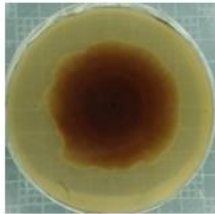


Tratamiento_1, placa_3, 7.2 cm de diámetro

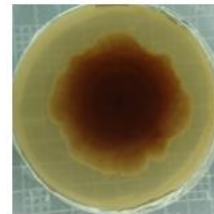


Tratamiento_1, placa_4, 6.9 cm de diámetro.

Placas del tratamiento_2 con 10% de extracto mezclado en el agar



Tratamiento_2, placa_2, 5.9 cm de diámetro.



Tratamiento_2, placa_3, 6.2 cm de diámetro.