UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y POSGRADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

"Desarrollo de un recubrimiento con propiedades activas a base de Aceite de Canela y Pectina con potencial aplicación en Frutillas"

Tesis previa a la obtención del grado de

Magíster en Agroindustrias

AUTOR:

Paspuel Paspuel, Justin Estefania

TUTOR:

Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shugulí, PhD.

Riobamba – Ecuador. 2025

DECLARATORIA Y CESION DE DERECHOS DE AUTORÍA

De mi consideración:

Yo **Justin Estefania Paspuel Paspuel** con número único de identificación **1719088534**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: "DESARROLLO DE UN RECUBRIMIENTO CON PROPIEDADES ACTIVAS A BASE DE ACEITE DE CANELA Y PECTINA CON POTENCIAL APLICACIÓN EN FRUTILLAS". Previo a la obtención del grado de Magíster en Agroindustrias.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido Trabajo de Titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 29 de Septiembre 2025

Atentamente

Ing. Justin Estefania Paspuel Paspuel
C.I: 1719088534

ACTA DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En la ciudad de Riobamba, a los 29 días del mes de Setiembre del año 2025, los miembros del Tribunal designado por la Comisión de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo, reunidos con el propósito de analizar y evaluar el Trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de titulación con componente investigación aplicada y/o desarrollo, CERTIFICAMOS lo siguiente:

Que, una vez revisado el trabajo titulado: DESARROLLO DE UN RECUBRIMIENTO CON PROPIEDADES ACTIVAS A BASE DE ACEITE DE CANELA Y PECTINA CON POTENCIAL APLICACIÓN EN FRUTILLAS, perteneciente a la línea de investigación: Sistemas de Producción y Desarrollo Agroindustrial, presentado por el maestrante Paspuel Paspuel Justin Estefania, portador de la cédula de ciudadanía No. 1719088534, estudiante del programa de Maestría en Agroindustrias, se ha verificado que dicho trabajo cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo cuanto podemos certificar, en honor a la verdad y para los fines pertinentes.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CRISTINA ALEJANDRA MUÑOZ SHUGULI
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Cristina Muñoz
TUTOR

Firmado electrónicamente por:
CRISTIAN JAVIER PATIÑO VIDAL
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Cristian Patiño
MIEMBRO DEL TRIBUNAL 1

Firmado electrónicamente por:
SEBASTIAN ALBERTO GUERRERO LUZURIAGA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Sebastián Guerrero
MIEMBRO DEL TRIBUNAL 2

Campus La Dolorosa
Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0880, ext. 2002
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec

Riobamba, 28 de Septiembre 2025

CERTIFICADO

De mi consideración:

Yo Cristina Alejandra Muñoz Shugulí, certifico que Justin Estefania Paspuel Paspuel con cédula de identidad No. 1719088534 estudiante del programa de Maestría en Agroindustrias, cohorte primera presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto de titulación con componente de investigación aplicada y/o desarrollo denominado: "DESARROLLO DE UN RECUBRIMIENTO CON PROPIEDADES ACTIVAS A BASE DE ACEITE DE CANELA Y PECTINA CON POTENCIAL APLICACIÓN EN FRUTILLAS", el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido COMPILATIO identificando el 1% en el texto y el 4% en inteligencia artificial.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CRISTINA ALEJANDRA
MUÑOZ SHUGULI
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shugulí, PhD

CI: 060408229-7

Adj.-

- Resultado del análisis de similitud (Compilatio)

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la vida, la salud y todas las virtudes necesarias para cumplir mimeta más anhelada.

Gracias a mis padres por ser mis fieles compañeros en todo este proceso y porque nuncasoltaron mis manos hasta cumplir este logro que es de los tres.

Un especial agradecimiento al Ing. Cristian Patiño por su tiempo, dedicación y por todoslos conocimientos impartidos tanto como docente y como tutor los cuales fueron de suma importancia para culminar con éxito el proyecto.

Gracias a la Ing. Cristina Muñoz, al Ing. Marcelo Patiño y al Ing. Sebastián Guerrero por su colaboración en el proyecto, ya que sus conocimientos y experiencia han sido de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo.

A la honorable Universidad Nacional de Chimborazo, a los docentes por su excelencia académica y al personal que la conforman por todo su esfuerzo y colaboración.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a Dios por todas las bendiciones recibidas, por darme la sabiduríasuficiente a lo largo de mis estudios y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa.

A mis amados padres Edison y Alicia que con su amor, su paciencia y sus consejos han sabidoguiarme en el transcurso de mi vida para ser una persona de bien, por ser mi ejemplo de perseverancia, por todo su esfuerzo para que yo pueda terminar mis estudios y convertirme enuna profesional y porque nunca han dudado de mis capacidades para salir adelante.

A mis hermanos Esteban y Alondra que con el apoyo incondicional entre los tres, nos hemos ayudado para ir cumpliendo nuestros sueños y nuestras metas de vida.

A mis abuelitos Elsy, Cristina, Esteban y Aurelio que se encuentran en el cielo porque siemprehe sido fiel creyente de que han cuidado de mí en cada paso que he dado.

A Paul mi compañero incondicional, por su apoyo y consejos en todo este proceso porque pocoa poco y con mucho amor estamos cumpliendo nuestros sueños.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA II
ACTA DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN III
CERTIFICADO IV
AGRADECIMIENTO V
DEDICATORIA VI
ÍNDICE GENERAL VII
ÍNDICE DE TABLAS IX
ÍNDICE DE FIGURAS X
RESUMEN 1
ABSTRACT 2
INTRODUCCIÓN 3
CAPÍTULO I 4
1. GENERALIDADES 4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 4
1.3 OBJETIVOS 5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
CAPÍTULO II 6
2. ESTADO DEL ARTE 6
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 6
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 7
2.2.1 PECTINA 7
2.2.2 PECTINA COMO BIOPOLÍMERO PARA RECUBRIMIENTOS 7
2.2.3 ACEITES ESENCIALES 8
2.2.4 FRUTILLA 9
2.2.5 BABACO 10
CAPÍTULO III 12
3. DISEÑO METODOLÓGICO 12
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 12
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 12

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL 12
3.4. PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA 13
3.5 EXTRACCIÓN DE LA PECTINA 13
3.6 DESARROLLO DEL RECUBRIMIENTO 13
3.7 APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ACTIVO 14
3.8 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS 14
3.8.1 CARACTERIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ACTIVO 14
3.8.2 EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ACTIVO 15
CAPÍTULO IV 17
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 17
4.1 RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA 17
4.1.1 OBTENCIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ACTIVO 17
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO 17
4.2.1 ESPESOR 17
4.2.2 ANÁLISIS DE COLOR 18
4.2.3 ÍNDICE DE OPACIDAD 19
4.2.4 FTIR 20
4.3 EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL RECUBRIMIENTO EN FRUTILLAS 21
4.3.1 CRECIMIENTO MICROBIANO 21
4.3.2 PÉRDIDA DE PESO 22
4.3.3 PH 23
4.3.4 GRADOS BRIX ° 24
4.3.5 ACIDEZ TITULABLE 25
CAPITULO V 27
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 27
5.1. CONCLUSIONES 27
5.2. RECOMENDACIONES 27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 28
ANEXOS 37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido de pectina (%peso seco) de las partes del fruto de babaco 11

Tabla 2: Diseño experimental de la investigación 12

Tabla 3: Resultado de espesor promedio 18

Tabla 4: Valores de los parámetros de color y diferencia de color 19

Tabla 5: Resultados de Índice de opacidad de las películas 19

Tabla 6: Resultados de Grados brix 24

Tabla 7: Resultados de Acidez Titulable 25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Frutilla (Fragaria x ananassa)..... 9

Figura 2: Babaco (Vasconcellea × heilbornii, sin. Carica pentagona) 10

Figura 3: Fotografías de los recubrimientos desarrollados..... 17

Figura 4: Espectro FTIR película sin ingrediente activo y película con ingrediente activo..... 20

Figura 5: Crecimiento microbiano en frutillas durante el almacenamiento a 4°C en refrigeración..... 21

Figura 6: Pérdida de peso 23

Figura 7: Resultados de pH 23

Resumen

El estudio tuvo como objetivo desarrollar un recubrimiento comestible con propiedades antimicrobianas a base de pectina y aceite esencial de canela, con potencial aplicación para conservación postcosecha de frutillas. En una primera etapa se realizó la caracterización físico-química de las películas sin aplicación en el fruto. El recubrimiento sin aceite presentó un espesor de 62,33 µm, mientras que el recubrimiento con aceite alcanzó 66,75 µm. En cuanto al color, se obtuvo un ΔE de 0,58 para el recubrimiento con aceite. El índice de opacidad fue de 0,011 para el recubrimiento sin aceite y de 0,012 para el recubrimiento con aceite. Los análisis por FTIR confirmaron la presencia de picos característicos de pectina, evidenciando su presencia en el recubrimiento. Posteriormente, se evaluó la efectividad de los recubrimientos aplicados sobre frutillas almacenadas a 4 °C durante 10 días. El recubrimiento con pectina y aceite esencial de canela logró inhibir el crecimiento fúngico hasta el décimo día, mientras que el recubrimiento solo de pectina no mostró el mismo efecto. En relación a la pérdida de peso, las frutillas recubiertas con pectina y aceite esencial presentaron un valor de 18,26%. El pH disminuyó de 3,34 a 3,28, mientras que los grados brix descendieron de 11 a 10. En contraste, la acidez titulable aumentó de 0,57 a 0,62. Los resultados confirman que la incorporación de aceite esencial de canela en la matriz de pectina mejora las propiedades funcionales del recubrimiento, prolongando la vida útil y calidad postcosecha de frutillas refrigeradas.

Palabras clave: recubrimiento comestible, pectina, ingrediente activo, fresa, postcosecha.

ABSTRACT

The study aimed to develop an edible coating with antimicrobial properties based on pectin and cinnamon essential oil, with potential application for post-harvest preservation of strawberries. In the first stage, the physical and chemical characteristics of the films were analyzed without applying them to fruit. The coating without oil had a thickness of 62.33 μm, while the coating with oil reached 66.75 μm. In terms of color, a Δe of 0.58 was obtained for the coating with oil. The opacity index was 0,011 for the oil-free coating and 0,012 for the oil-based coating. FTIR analysis confirmed the presence of characteristic pectin peaks, evidencing its presence in the coating. Subsequently, the effectiveness of the coatings applied to strawberries stored at 4 °C for 10 days was evaluated. The coating with pectin and cinnamon essential oil inhibited fungal growth until the tenth day, while the pectin-only coating did not show the same effect. In terms of weight loss, strawberries coated with pectin and essential oil showed a value of 18.26%. The pH decreased from 3.34 to 3.28, while the Brix degrees decreased from 11 to 10. In contrast, titratable acidity increased from 0.57 to 0.62. The results confirm that incorporating cinnamon essential oil into the pectin matrix enhances the functional properties of the coating, thereby extending the shelf life and improving the post-harvest quality of refrigerated strawberries.

Keywords: Edible coating, pectin, active ingredient, strawberry, post-harvest.

Firmado electrónicamente por:
SOFIA FERNANDA
FREIRE CARRILLO
Validar únicamente con FirmaEC

Reviewed by:

Mgs. Sofía Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

Introducción

La postcosecha es un periodo crítico en la conservación de las frutas y las hortalizas. Durante esta etapa es importante asegurar la calidad y disponibilidad de alimentos en la cadena agro-productiva. Sin embargo, se ha reportado que la postcosecha es considerada la etapa en la cual aproximadamente un tercio de los alimentos se pierden por año, debido a agentes patógenos o mala manipulación por parte del personal (Aguilar-Duran et al., 2020). Por esta razón, la academia y la industria se encuentran constantemente en la búsqueda de estrategias que permitan prolongar la vida útil y mantener la calidad de las frutas y verduras en el almacenamiento y transporte (Anaya-Esparza et al., 2020).

Entre las estrategias más novedosas y mínimamente contaminantes para enfrentar estos desafíos destaca el desarrollo de recubrimientos comestibles. Los recubrimientos comestibles se consideran como películas aplicadas sobre la superficie de un alimento con la finalidad de actuar como una barrera física que regula el intercambio de gases, minimiza la pérdida de humedad y protege al alimento de contaminantes externos (Aguilar-Duran et al., 2020). Para el desarrollo de los recubrimientos comestibles es indispensable el uso de biopolímeros naturales como la quitina, almidón y pectina; y se ha demostrado que la incorporación de sustancias con propiedades antioxidantes y antimicrobianas mejora su efectividad y características (Boiteux et al., 2021).

En este contexto, en la presente investigación se desarrolló un recubrimiento activo para frutillas, mediante la valorización de residuos del babaco como fuente del biopolímero base junto con la adición de un aceite con propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del Problema

Una de las frutas con mayor susceptibilidad de deterioro durante la postcosecha son las frutillas. Esta fruta se deteriora por factores químicos, biológicos, microbiológicos y físicos; además, las frutillas presentan altas tasas de transpiración, la cual crea un ambiente adecuado para el crecimiento de hongos especialmente por *Botrytis cinerea*. Por lo tanto, la preservación de la vida útil de las frutillas garantizando su almacenamiento y comercialización representa un gran desafío para la industria alimentaria (Zantar et al., 2025).

Las prácticas tradicionales como la refrigeración y el uso de agroquímicos como el captan, tiofanato, azufre elemental, entre otros son alternativas de conservación que han resultado favorables, especialmente para detener la infección del moho gris. Este tipo de contaminación constituye la principal razón por la cual las frutillas son rechazadas a nivel mayorista y minorista lo que, en consecuencia, tiene un alto impacto económico. Sin embargo, el uso de estos fungicidas sintéticos se relaciona con una mayor resistencia a los patógenos, efectos sobre la salud humana y medio ambiente (Trinetta et al., 2020).

La creciente demanda por parte de los consumidores por alimentos mínimamente procesados, libres de químicos, sanos e inocuos, ha fomentado el desarrollo de nuevos métodos de conservación que impliquen el uso de compuestos naturales que sirvan de sustitutos de funguicidas y tratamientos químicos convencionales (Jadhav & Choudhary, 2024). En este sentido, el desarrollo de recubrimientos comestibles activos es una estrategia prometedora para mejorar la calidad y aumentar la vida útil de este tipo de fruta que es perecedera, además de mantener la calidad sensorial de la misma.

1.2 Justificación de la Investigación

A nivel nacional el consumo de frutillas ha aumentado significativamente, el 60% de la producción total es para el consumo nacional en fruta fresca o procesada (Beltrán, 2016). Sin embargo, esta fruta alcanza la senescencia rápidamente durante la etapa de postcosecha, perdiendo su calidad en muy corto tiempo (Hancco, 2017), a lo que se asocian las grandes pérdidas económicas. En consecuencia, la academia y la industria tienen el desafío de desarrollar nuevas estrategias tecnológicas capaces de preservar alimentos altamente perecederos sin afectar su calidad e inocuidad.

Dentro de las alternativas, los recubrimientos comestibles activos han surgido como una estrategia novedosa que permiten la incorporación de compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas y antioxidantes que actúan como una barrera semipermeable que modula el intercambio de gases y humedad (Patil et al., 2023), manteniendo la calidad de los alimentos.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un recubrimiento natural para frutillas, a base de un polisacárido biodegradable como la pectina obtenida a partir de residuos de babaco y un compuesto activo con propiedades antimicrobianas como el aceite esencial de canela. La combinación de estos los compuestos constituye una estrategia innovadora y natural, que contribuye a la valorización de residuos, extender la vida útil de las frutillas, reducir su deterioro y conservar su calidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar un recubrimiento comestible con propiedades antimicrobianas a partir de pectina y aceite esencial de canela con potencial aplicación en frutillas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener un recubrimiento comestible con propiedades antimicrobianas a partir de pectina y aceite esencial de canela.
- Caracterizar el recubrimiento mediante la evaluación de sus propiedades físicas, ópticas y estructurales.
- Evaluar la efectividad del recubrimiento comestible durante el almacenamiento de frutillas.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Antecedentes Investigativos

Un recubrimiento comestible activo se define como una matriz que puede ser de origen animal o vegetal, transparente, delgada, que se adhiere al alimento generalmente por inmersión, con el fin de preservar la calidad del alimento y alargar su vida útil (Fernandez & Bautista, 2015).

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre el uso de biopolímeros naturales para desarrollar recubrimientos comestibles. Brito. (2022) diseñó y comparó recubrimientos a base de pectina obtenida de cáscara de naranja y quitosano para aplicarlos en frutillas. Los resultados del análisis sensorial evidenciaron una preferencia por las frutillas recubiertas con pectina por su sabor y textura, y no existieron diferencias en los resultados de pH, acidez y grados brix durante 6 días de almacenamiento bajo refrigeración.

Bello et al. (2016) aplicaron recubrimientos a base de almidón y pectina en mangos, los cuales fueron almacenados a 10 °C y posteriormente expuestos a 22 °C. Los mangos recubiertos mostraron mayor firmeza, mayor contenido de sólidos solubles y conservaron su color, en relación con los mangos sin recubrir.

La incorporación de aceites esenciales en recubrimientos para ser aplicados en alimentos representa una estrategia sostenible debido a su origen natural, propiedades antioxidantes y antimicrobianas que permite extender la vida útil y agregar valor al producto. Por ejemplo, Popescu et al., (2022) evaluaron el efecto de tres tipos de recubrimientos comestibles a base de quitosano con aceite esencial de espino amarillo o semilla de uva aplicado en fresas y manzanas durante 7 días de almacenamiento en frío. Los recubrimientos representaron una técnica prometedora para lograr una protección mecánica y preservar los parámetros de calidad post-cosecha y la vida útil de fresas y rodajas de manzana. Asimismo, García et al. (2024) desarrollaron recubrimientos comestibles a base de pectina cítrica enriquecidos con hidroxisales de zinc y limoneno, para ser aplicados en fresas bajo refrigeración. Los autores determinaron que los recubrimientos redujeron el desarrollo de hongos y levaduras en las frutillas. Además, se mantuvieron los niveles de sólidos solubles, aumentó la firmeza y acidez titulable de las frutas durante los 15 días de almacenamiento. El estudio demostró que el uso de desechos agroindustriales ricos en pectina como las cáscaras de los cítricos funciona como base de recubrimientos para ser aplicados en frutas que se deterioran rápidamente.

Por otro lado, Villanueva et al. (2021) formularon un bio-recubrimiento a base de gelatina, almidón con aceite esencial de canela al 0,05% y clavo de olor al 0,025% con la finalidad de proteger frutillas. El recubrimiento prolongó la vida útil de las frutillas durante 14 días de almacenamiento a 2 °C. En otra investigación realizada por Medina et al. (2016), diseñaron recubrimientos comestibles activos para aplicarlo en frutillas. El

mejor recubrimiento estuvo compuesto por 10 g de agar, 20 g de almidón, 20 g de glicerol y 250 ppm de aceite de canela como compuesto activo. El recubrimiento mantuvo las características físico-químicas de las frutillas durante 10 días. Por último, Falconí (2016) desarrollaron recubrimientos para la conservación de la fresa a base de gelatina, pectina y cera de abeja adicionando 1% de aceite de clavo de olor (AECO) como ingrediente activo. Las características físico-químicas de las fresas se conservaron durante 12 días de almacenamiento bajo refrigeración con una pérdida de peso del 5,26%, manteniendo la estabilidad de los sólidos solubles 7,49%, un pH de 3,96 y acidez de 0,73% e inhibición de mohos y levaduras.

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Pectina

La pectina es un polisacárido complejo de las plantas superiores, que se encuentra en el tejido de la pared celular principalmente en frutas y verduras (Picot et al., 2022). La pectina se puede obtener de los residuos de frutas que contienen moléculas bioactivas. Por lo general, estos residuos son desechos fáciles de adquirir sin valor agregado como las cáscaras, hojas y semillas (Babbar et al., 2010).

El rendimiento y la calidad de la pectina dependen de la técnica empleada para la extracción, entre las más comunes se encuentran la extracción por Soxhlet, el uso de solventes como el agua, ácido clorhídrico, ácido cítrico o ácido nítrico y métodos de extracción por ultrasonido o microondas. Luego se realiza un proceso de purificación en el que se separa la pectina de los azúcares, proteínas y demás componentes mediante un proceso de precipitación en el que generalmente se utiliza alcohol o ultrafiltración (Dranca & Orolan, 2018). El proceso de extracción, el tipo de fruta empleada y su grado de maduración son factores determinantes en la clasificación de pectinas extraídas (Liew et al., 2014). Así también, la extracción de la pectina a partir de residuos de frutas depende de variables como la temperatura la cual debe ser alta creando un ambiente propio de hidrólisis junto con un pH ácido (Begum et al., 2014).

Aproximadamente el 85,5% de pectina para fines comerciales es extraída de las cáscaras de frutas cítricas, mientras que el resto proviene de la pulpa de diversas frutas como por ejemplo de la maracuyá 37,7%, de la manzana el 14,0% (Ramos dos Reis et al., 2018). Además, existen otras materias primas para extraer la pectina como la cáscara de limón, cáscara de mandarina, cáscara del mango, cáscara de durazno y cascarilla de cacao (Dranca & Orolan, 2018).

2.2.2 Pectina como biopolímero para recubrimientos

La pectina es un polisacárido compuesto por cadenas lineales de ácido D-galacturónico unidas mediante enlaces α(1–4) y además contiene grupos carboxilo parcialmente esterificados en forma de ésteres metílicos (Wang et al., 2020). La pectina puede clasificarse en pectina de bajo metoxilo con un grado de esterificación inferior al

50% y en pectina de altos metoxilo con un grado de esterificación superior al 50% siendo esta la más utilizada en la industria (Lin et al., 2024).

La pectina es un biopolímero natural biodegradable, el cual brinda una posible solución ecológica y sostenible para el envasado de alimentos (Dirpan et al., 2024). La pectina ha generado gran interés para aplicaciones en recubrimientos alimentarios gracias a sus características distintivas como la degradación de forma natural, la compatibilidad con sistemas biológicos y su capacidad para formar películas sólidas. Además, la pectina es un compuesto son generalmente reconocido como seguros (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentes (FDA), que puede ser utilizado para el desarrollo de materiales de empaque (Firdaus et al., 2024).

La pectina presenta una amplia variedad de aplicaciones, una de ellas como base para los recubrimientos comestibles, los cuales incorporan sustancias funcionales para reforzar sus características mecánicas, aumentar sus propiedades de resistencia y ayudar a reducir la contaminación microbiana de productos alimenticios (Lazaridou & Biliaderis, 2020).

El desarrollo de películas a partir de polímeros biodegradables como la pectina en combinación con otros aditivos naturales o sintéticos, para mejorar las características del material y extender la vida útil de alimento ha sido una de las soluciones con más interés en la industria alimentaria (Woranuch & Yoksan, 2013). Las películas activas contienen compuestos activos con propiedades antimicrobianas, que inhiben el crecimiento de bacterias y hongos, o que absorben oxígeno y vapor de agua para así prolongar la vida útil de los productos alimenticios (Bahmid et al., 2021). Estos compuestos activos pueden ser nanorellenos, plastificantes y sustancias naturales como los aceites esenciales (Chaichi et al., 2023).

2.2.3 Aceites Esenciales

Los aceites esenciales (AE) son metabolitos secundarios que se encuentran principalmente en las plantas aromáticas y pueden ser extraídos de las flores, raíces, frutas, semillas, madera, entre oros. Estas sustancias se emplean en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, además son agentes naturales hidrofóbicas con actividad antioxidante y antimicrobiana (Ju et al., 2019).

Los AE están conformados por el 95% de compuestos volátiles, constituidos por monoterpenos e hidrocarburos sesquiterpenicos, derivados oxigenados, alcoholes, aldehídos, alifáticos, ésteres, éteres, cetonas y fenoles; el otro 5% está constituido por compuestos no volátiles como hidrocarburos, ácidos grasos, carotenoides, ceras y flavonoides (Adelakun et al., 2016).

En años recientes se han estudiado los aceites esenciales como aditivos para películas y recubrimientos emulsionados comestibles naturales. Debido a su naturaleza lipídica ayudan a reducir la permeabilidad al vapor de agua de las películas hidrófilas y se atribuyen características positivas de los materiales en cuanto a la tensión, estructura,

características ópticas, así como efectos antimicrobianos y antioxidantes (Atarés & Chiralt, 2016). Por tanto, la incorporación de AE en recubrimientos comestibles es un método efectivo ante el control de enfermedades fúngicas que inhibe el crecimiento de hongos y levaduras al mantener altas concentraciones de moléculas activas sobre la superficie del alimento (Pontiago et al., 2015). Al respecto, la literatura recomienda adicionar AE en cantidades de hasta 25% para no producir efectos perjudiciales para el recubrimiento como el olor, generando así un producto aceptable (Tonguanchan, 2014).

2.2.3.1 Aceite esencial de canela

El aceite esencial de canela es un compuesto volátil que se obtiene de la corteza o las hojas del árbol de canela. Este aceite se caracteriza por su aroma fuerte y es muy utilizado en la industria farmacéutica y alimentaria para conservación de sus productos (Burt, 2004).

El principal componente de este aceite esencial es el cinamaldehído, el cual representa del 65% al 80% de su composición. Otros compuestos importantes son el eugenol, linalol, acetato de cinamilo, entre otros, lo que depende de la parte de la planta de donde fue extraído, hojas o corteza (Zhang et al., 2016).

Este aceite posee actividades antimicrobianas efectivas contra bacterias Gram positivas y negativas, también inhibe la producción de hongos, haciéndolo útil en la conservación de alimentos y en recubrimientos comestibles activos. Además, el aceite esencial de canela posee propiedades antioxidantes, las cuales retardan la oxidación de lípidos y otros componentes sensibles en alimentos (Ribeiro-Santos et al., 2017).

2.2.4 Frutilla

Las frutillas conocidas como fresas, son frutos no climatéricos que se obtienen del receptáculo engrosado de la flor, es una fruta de forma cónica casi redonda, de distitno tamaño según la variedad (15 a 22 mm de diámetro), coronada por sépalos verdes. Como se observa en la Figura 1, la frutilla es ampliamente valorada por su color rojo brillante, su sabor dulce, su aroma intenso y su alto contenido de compuestos bioactivos como la vitamina C, antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos (Giampieri et al., 2012).

Figura 1: *Frutilla (Fragaria x ananassa)*

Nota. Fotografía frutillas. Tomada por Autora

Las frutillas es uno de los productos agrícolas de gran importancia en el país, teniendo a disponibilidad algunas variedades como Oso Grande, Diamante, Monterrey y Albión, con textura y peso similar. La producción se centra en la Sierra, en la provincia de Pichincha se concentra la mayor producción de frutillas con 400 hectáreas cultivadas, después se encuentra Tungurahua con 240 hectáreas, y en las provincias de Imbabura, Cotopaxi y Chimborazo la producción es menor a las 40 hectáreas (Chimborazo, 2014).

2.2.4.1 Composición química de la Frutilla.

Las frutillas contienen 89,6% de agua, 7% de hidratos de carbono, 0,7% de proteínas, 0,5 de lípidos y 2,2% de fibra. En cuanto a los contenidos de azúcares, la frutilla contiene 2,6% de glucosa, 2,3% de fructosa y 1,3% de sacarosa y la vitamina que predomina es la vitamina C, además de los minerales como el potasio que es el componente mayoritario, seguido del fósforo, calcio y magnesio (Chordi, 2013).

Las condiciones óptimas de almacenamiento de las frutillas es de 0,5°C a 5°C, siendo la vida útil al aire libre de hasta 5 días, mientras que en atmósferas controladas es de hasta 10 días y en condiciones hipobáricas es de hasta 21 días (Chordi, 2013).

2.2.5 Babaco

El babaco es una fruta originaria de los valles temperados de las zonas altas de Ecuador, con 1500 a 2500 m.s.n.m y temperaturas que oscilan entre los 14 a 20 °C, en donde la presencia de vientos y heladas sea mínima. El fruto es una baya sin semillas, y como se observa en la Figura 2, es alargado de sección pentagonal provisto de una punta, de longitud de hasta 38 cm y diámetro de 14 cm, cuando la fruta está madura la cáscara presenta un color amarillo intenso y la pulpa un color crema-amarillento. Al ser una fruta sin semillas con cáscara delgada es ideal para consumo en industrialización (Iturralde, 2000).

Figura 2: *Babaco (Vasconcellea × heilbornii, sin. Carica pentagona)*

Nota. Fotografía frutillas. Tomada por Autora

2.2.5.1 Composición química del Babaco.

Estudios previos han determinado que por cada 100 g de fruta se tiene 93 g de agua, 6 g de carbohidratos, 0,70 g de fibra insoluble, 0,38 g de fibra soluble, 0,20 g de grasa 0,90 g de proteína y 1,30 g de sodio. Además, esta fruta contiene potasio, calcio, fósforo, azufre, riboflavina, carotenos, tiamina, piridoxina y ácido ascórbico (Acosta, 2011).

2.2.5.2 Contenido de pectina en babaco

El babaco contiene una moderada de pectina, especialmente en la cáscara y la pulpa. Esta característica lo hace un buen candidato para la extracción de pectina con fines alimentarios o tecnológicos, siendo pectina mayormente de alto grado de metoxilación, lo que favorece la elaboración de geles, mermeladas o recubrimientos comestibles. Sin embargo, es importante considerar que el contenido de pectina en el babaco depende del grado de madurez de la fruta y de la parte del fruto de donde se extrae, como se muestra en la Tabla 1 (Cañizares & Córdova, 2015).

Tabla 1: *Contenido de pectina (%peso seco) de las partes del fruto de babaco*

Parte del fruto	Contenido de pectina (%peso seco)
Pulpa fresca	0,8% – 1,5%
Cáscara	2,5% - 3,8%
Fruto verde	2,3%

Nota. Tomado de Caracterización fisicoquímica de pectinas extraídas de frutas tropicales ecuatorianas. Tomado de (Cañizares & Córdova, 2015)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El trabajo de investigación fue de tipo experimental y documental. Inicialmente, se realizó una revisión bibliográfica para determinar el proceso de extracción de pectina, y la cantidad de aceite esencial y pectina para la elaboración del recubrimiento comestible activo. Además, la investigación tuvo un enfoque cuantitativo por los análisis realizados al recubrimiento tales como color, espesor, opacidad y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier; y a las frutillas recubiertas mediante mediciones de pérdida de peso, crecimiento microbiano, pH, grados brix y acidez titulable.

Este trabajo de titulación de tesis se desarrolló en la Universidad Nacional de Chimborazo y Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y fue parte del Proyecto de Investigación DIPI 046 "Valorización de residuos de frutas nativas de Ecuador mediante el desarrollo de materiales de envase activo de alimentos"

3.2 Diseño de Investigación

El proyecto inició con la extracción de la pectina de la cáscara de babaco con el fin de aprovechar los residuos de esta fruta. Posteriormente se desarrolló el recubrimiento comestible activo y se aplicó en frutillas, siguiendo parámetros de vida útil.

3.3 Diseño Experimental

De acuerdo con la Tabla 2, las variables como el pH, grados brix y acidez titulable se evaluaron bajo un diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial 3 X 4 con dos repeticiones, lo que resulta en 24 unidades experimentales, en donde el factor A corresponde a las tres formulaciones del recubrimiento (T1= control; T2= sin ingrediente activo y T3= con ingrediente activo) y el factor B a los cuatro periodos de almacenamiento (0, 5, 10, 15 días).

Tabla 2: *Diseño experimental de la investigación*

Factor	Niveles	Especificaciones
Formulaciones del recubrimiento	3	Frutillas
		Frutillas + pectina
		Frutillas + pectina + aceite esencial de canela
Tiempo de almacenamiento	4	0 días
		5 días
		10 días

	15 días

Nota. Realizada por Autora

3.4. Preparación de la materia prima

Los babacos en estado maduros (amarillos y suaves) se compraron en el Mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba. Las frutas fueron lavadas con agua potable y se pelaron para separar la cáscara de la pulpa. La pulpa se entregó a restaurantes.

Las frutillas en estado de madurez comercial (rojo intenso y textura firme) se recogieron de la parcela ubicada en el barrio El Socorro de la ciudad de Riobamba. Los ensayos se ejecutaron en el Laboratorio del Grupo de Investigación de Inocuidad y Valorización de Recursos para la Agroindustria (INVAGRO) de la carrera de Agroindustria de la Universidad Nacional del Chimborazo y en el Laboratorio de Química Instrumental de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

3.5 Extracción de la pectina

La pectina se obtuvo de las cáscaras de babaco, cuyo procedimiento se detalla a continuación. Primero, se secaron las cáscaras de babaco a 45°C durante 72 horas. Posteriormente, se pulverizaron las cáscaras secas mediante la ayuda de un mortero. La materia seca pulverizada se sometió a una hidrólisis ácida con HCl al 0,1 N y un pH de 2, utilizando una relación de 1 gramo de materia seca por cada 25ml de agua destilada. La mezcla se agitó en baño maría a 90 °C durante 1 hora con agitación constante. La mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró para separar el sólido del líquido. La parte sólida se eliminó y el sobrenadante se dejó reposar en etanol al 96% (v/v) durante 12 horas, utilizando una relación 1:2 (1 ml de solución por cada 2 ml de etanol). Transcurrido este tiempo, la muestra se lavó dos veces con etanol al 95% (v/v) y 75% (v/v), realizando filtraciones en cada lavado y aprovechando la parte sólida que correspondía a la pectina extraída (Henao et al., 2012). La pectina se secó a 45 °C durante 4 horas. Finalmente, la pectina se molió en un mortero y se almacenó hasta su uso.

3.6 Desarrollo del recubrimiento

Se calentó agua destilada contenida en vasos de precipitación hasta hervor en la que se disolvió pectina en una concentración del 3% (p/v), mediante agitación constante durante 25 minutos. La solución se enfrió a temperatura ambiente y se añadió glicerol como plastificante al 20% (respecto al peso del polímero). La dispersión se agitó durante 10 minutos y finalmente se añadió aceite esencial de canela como ingrediente activo al 20% (respecto al peso del polímero) agitando durante 25 minutos adicionales. Además, se preparó una dispersión de pectina sin aceite esencial de canela como control.

3.7 Aplicación del recubrimiento comestible activo

Para la aplicación del recubrimiento se utilizó el método de inmersión. Las frutillas se sumergieron en el recubrimiento durante dos minutos. Posteriormente, las frutas recubiertas se colocaron en forma horizontal sobre planchas de poliestireno expandido, con la ayuda de mondadientes, y se secaron dentro de una cámara de flujo laminar. Una vez secas las frutillas, 3 unidades se colocaron en cajas de tereftalato de polietileno con ventilación (11 cm x 11 cm), y se almacenaron a 4°C durante 15 días. Como control se utilizó frutillas sin recubrir y frutillas recubiertas con la dispersión no activa de pectina.

3.8 Técnica de recolección de datos

3.8.1 Caracterización del recubrimiento comestible activo

Con la finalidad de caracterizar el recubrimiento, se prepararon películas activas de pectina mediante la técnica de disolución-evaporación "casting". Además, como control se obtuvieron películas de pectina sin aceite esencial.

3.8.1.1 Espesor

El espesor de las películas se midió con un micrómetro digital en 6 puntos diferentes de cada película. El resultado final se expresó como el promedio de las mediciones.

3.8.1.2 Color

El color de las películas se midió utilizando un colorímetro Linshang LS171 (China). Se determinaron los siguientes parámetros de color CIE Lab*: L* como la luminosidad con valores entre 0 (negro) y 100 (blanco), a* (tono verde a rojo) y b* (tono azul a amarillo). Las diferencias de color (ΔE) entre la película activa y no activa de pectina se determinó mediante la ecuación 1 (Amariei et al., 2022).

$$\Delta \boldsymbol{E} = \sqrt{(\Delta \boldsymbol{L}^*)^2 + (\Delta \boldsymbol{a}^*)^2 + (\Delta \boldsymbol{b}^*)^2} \qquad \text{Ecuación 1}$$

3.8.1.3 Índice de Opacidad

El índice de opacidad de las películas se determinó utilizando un espectrofotómetro UV-Visible Pharo 300 Spectroquant® (Alemania). Las películas se cortaron en rectángulos de 1 cm x 4,5 cm y se midió la absorbancia a 600 nm. La opacidad se calculó mediante la ecuación 2 (Priyadarshi et al., 2018):

$$\boldsymbol{O} = \frac{\boldsymbol{Abs_{600nm}}}{\boldsymbol{L}} \qquad \text{Ecuación 2}$$

3.8.1.4 Espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR-ATR)

Se evaluó la presencia de los grupos funcionales de la pectina y el aceite esencial, así como las interacciones entre ellos, mediante un espectrómetro infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) FT/IR-4100 (Japón) acoplado a un cristal de diamante de reflexión total atenuado (ATR). Los espectros FTIR-ATR se obtuvieron realizando 64 barridos a la muestra en un intervalo de longitud de onda entre 4000 a 400 cm^{-1} y con una resolución de 16 cm^{-1}.

3.8.2 Evaluación de la aplicación del recubrimiento comestible activo

La efectividad del recubrimiento activo se evaluó mediante pruebas no destructivas y destructivas a las frutillas. Los análisis se realizaron a los días 0, 5, 10 de almacenamiento.

3.8.2.1 Crecimiento microbiano

El crecimiento fúngico en las frutillas se realizó mediante un registro fotográfico. Las fotografías se tomaron dentro de la cámara de flujo laminar. Se utilizó luz blanca y un fondo negro para distinguir la presencia de hongos. Las frutillas no se sacaron de los recipientes sino hasta el final del ensayo.

3.8.2.2 Pérdida de peso

Para determinar la pérdida de peso de las frutillas se registró el cambio de peso de cada caja con frutillas del día 0 (inicio del ensayo) 5 y 10. El porcentaje de pérdida de peso en cada día se calculó mediante la ecuación 3:

$$\boldsymbol{Pérdida\ de\ peso}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{W0 - Wf}}{\boldsymbol{W0}}\ \boldsymbol{x\ 100} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- Wo = Peso inicial
- Wf = Peso en el día de registro

3.8.2.3 Análisis de pH

Para este análisis las frutillas se trituraron en un mortero hasta obtener una pasta o jugo, del que se midió el pH utilizando un pHmetro Elicrom 2880121/16 (Colombia). El equipo fue calibrado previamente con soluciones Buffer estandarizadas con pH fijo (7,00 neutro – 4,00 ácido – 10,00 alcalino). La medición del pH de las muestras se realizó colocando el electrodo en 50 ml de la muestra, empleando el método de ensayo NTE INEN 973.

3.8.2.4 Grados brix

La determinación del índice de refracción (nD) se realizó mediante el método de análisis NMX-F-436-SCFI-2011, el cual mide la rapidez con la que un haz de luz viaja a través de un medio en particular, es decir la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, en relación con la velocidad a la que pasa (Saiz Vega & Cobo Cano, 2020). Para ello, se colocó 2 gotas del jugo o pasta de frutilla (obtenido

previamente en la medición de pH) en el prisma inferior de un refractómetro Abbe, VistaLab Ovation, C10 (EEUU). Una vez que la muestra estuvo cubierta de manera uniforme en el prisma, se observó a través de la pieza del ocular regulando la perilla hasta enfocar la escala y la frontera en el que se realizó la lectura.

3.8.2.5 Acidez titulable

La acidez titulable se determinó mediante la metodología descrita en la Normativa Ecuatoriana NTE INEN-ISO (2013). Se preparó una solución de NaOH al 0,1N, y las muestras se titularon pesando 2 g de cada muestra y añadiendo fenoltaleina como indicador. La acidez titulable se determinó mediante la ecuación 4:

$$\boldsymbol{Acidez\ titulable}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{N x\ E\ x\ 0{,}1\ x\ V}}{\boldsymbol{P}} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- N= Normalidad de la base NaOH
- E= Equivalente gramo del ácido de referencia
- 0,1= Factor de conversión
- V= Volumen de NaOH consumido
- P= Peso de la muestra analizada

APÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

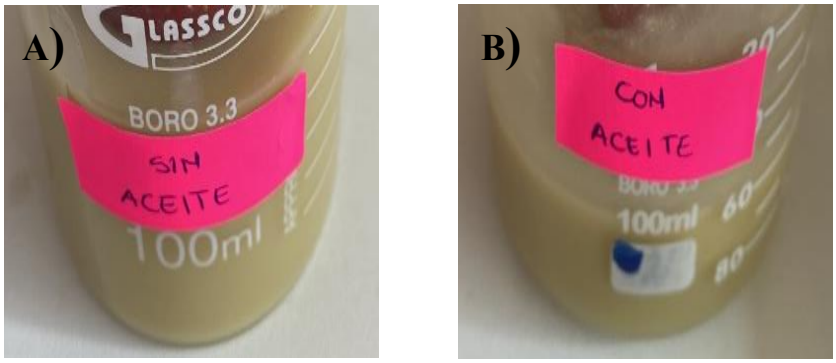
4.1 Rendimiento de extracción de pectina

El proceso de extracción de pectina a partir de cáscaras de babaco dio un rendimiento de 5,69%. Este resultado es cercano a valores obtenidos en investigaciones previas sobre la extracción de pectina desde otras especies. Por ejemplo, Vasquez et al. (2008) realizaron la extracción de pectina de cáscaras de plátano en estado de madurez verde, sanos y sin daños mecánicos y obtuvieron un rendimiento de extracción de pectina del 7,65% mediante el método de hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl) con pH 3, temperatura (85 °C), agitación durante 60 minutos y lavados con etanol al 95% y 50%. Asimismo, Aparicio et al. (2024) extrajeron pectina a partir de cáscaras de cacao, la cual se desecha después de sacar las semillas, logrando rendimientos de 6,53% con ácido clorhídrico (HCl) y 5,58% con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), calentamiento por 120 minutos a 70 °C, filtrado en etanol por 24 horas y lavado en etanol al 70% (Huamani et al., 2023).

4.1.1 Obtención del recubrimiento comestible activo

La Figura 3 muestra las fotografías de la solución formadora de película de pectina sin ingrediente activo (A) y con ingrediente activo (B). Como se observa, el recubrimiento presentó una tonalidad amarillenta en los dos casos, debido al color propio de la pectina extraída de residuos de babaco. Además, se observó una viscosidad media en ambas formulaciones, observando que el aceite no influenció en este parámetro. Sin embargo, el olor del recubrimiento con ingrediente activo fue el característico de la canela.

Figura 3: *Fotografías de los recubrimientos desarrollados*



4.2 Caracterización del recubrimiento

4.2.1 Espesor

La Tabla 3 muestra los resultados de espesor de la película con y sin aceite esencial. Los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los valores de espesor de las diferentes películas. Sin embargo, la película activa presentó

una alta variabilidad, hecho que se atribuye a la formación de una microestructura heterogénea por la adición de aceite esencial, relacionada a la dispersión de gotas lipídicas dentro de la matriz polimérica de base acuosa. Esta situación es similar a lo que ocurre con los rellenos que interfieren con la compactación de un biopolímero, lo que forma películas irregulares y con mayor volumen (Santoso et al., 2021).

Tabla 3: *Resultado de espesor promedio*

Película	Espesor (μm)
Sin ingrediente activo	$62{,}33 \pm 8{,}04^{a}$
Con ingrediente activo	$66{,}75 \pm 16{,}15^{a}$

Letras superíndices similares indican que no existen diferencias significativas entre los parámetros de color de las películas ($p>0{,}05$), de acuerdo de acuerdo con la prueba T-student.

El espesor de un recubrimiento corresponde al grosor de la capa que se forma alrededor del alimento aplicado y es clave ya que determina la eficiencia como barrera protectora (Vázquez et al., 2019). Estudios anteriores han obtenido películas con espesores cercanos a los de la presente investigación. Por ejemplo, en el estudio realizado por Ngo et al. (2020) se obtuvieron películas de pectina con un espesor de 54 μm. En otro estudio, determinaron un espesor de 54,1 μm para películas compuestas por 1% de aceite de tomillo con carboximetilcelulosa más 10% de pectina (Spinei et al., 2024). El espesor de los recubrimientos que contienen diferentes dosis de aceite esencial son dependientes de otros componentes formadores de películas como la solubilidad del aceite en el agua y la interacción química entre los materiales y los aceites (de Souza et al., 2022).

4.2.2 Análisis de color

Las propiedades ópticas de los recubrimientos comestibles es un factor clave en la percepción sensorial y en la aceptación por parte de los consumidores. Generalmente, los consumidores esperan que estas películas sean transparentes, incoloras o a su vez se asemejen al color natural del alimento en el cual son aplicadas (Galus & Kadzińska, 2016).

Los parámetros de color L*, a* y b* así como las diferencias de color (ΔE) entre la película con y sin ingrediente activo se muestran en la Tabla 4. De acuerdo con los valores de L*, a* y b*, se determina que los recubrimientos fueron luminosos, con tonos ligeramente rojizos y amarillos, característicos de la pectina (Patiño Vidal, Velásquez, et al., 2023). Además, la incorporación de aceite esencial de canela no produjo cambios significativos en los parámetros de color.

Tabla 4: *Valores de los parámetros de color y diferencia de color*

Película	L	a	b	ΔE
Sin ingrediente activo	74,85 ± 0,16[a]	5,42 ± 0,06[a]	24,43 ± 0,25[a]	-
Con ingrediente activo	74,67 ± 1,10[a]	5,72 ± 0,18[a]	24,89 ±2,11[a]	0,58 ±0,41[a]

Letras superíndices similares indican que no existen diferencias significativas entre los parámetros de color de las películas (p>0,05), de acuerdo de acuerdo con la prueba T-student.

Por otra parte, la incorporación del aceite esencial de canela produjo un ligero cambio de color del material con un valor de ΔE de 0,58. Este resultado indica que la diferencia de color con respecto a la película control (sin aceite esencial de canela) no fue perceptible. Resultados similares se encontraron en el estudio realizado por Spinei et al. (2024), en el que se determinó un ΔE menor a 2 para películas de carboximetilcelulosa y pectina cítrica enriquecidas con aceite de tomillo, indicando que la incorporación del aceite no influyó significativamente en el color de las películas. Además, es importante indicar que la modificación del color en los recubrimiento depende mayoritariamente del biopolímero y concentración utilizados (Silva et al., 2016). Así, Yasmin et al. (2019) observaron que una mayor concentración de pectina en la solución formadora produjo un incremento del color amarillo en las películas de este polímero y proteína de suero de leche, lo que asociaron al color intrínseco del biopolímero.

4.2.3 Índice de Opacidad

La Tabla 5 muestra los resultados de los índices de opacidad de la película con y sin aceite esencial de canela. La opacidad es una característica importante para recubrimientos activos ya que de ésta depende la transparencia, y está relacionada directamente con el espesor (Pirsa & Mohammadi, 2021).

Tabla 5: *Resultados de Índice de opacidad de las películas*

Película	Índice de opacidad
Sin ingrediente activo	0,011 ± 0,00[a]
Con ingrediente activo	0,012 ± 0,00[a]

Letras superíndices similares indican que no existen diferencias significativas entre los índices de opacidad de las películas (p>0,05), de acuerdo de acuerdo con la prueba T-student.

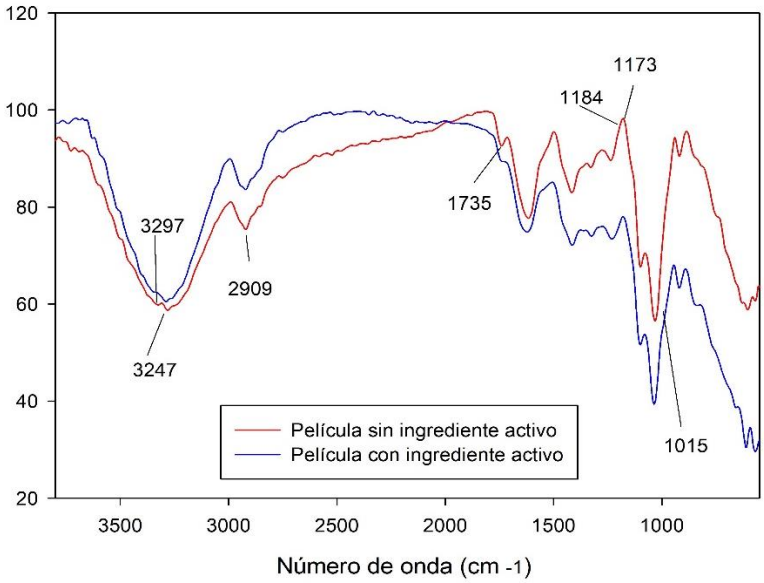
De acuerdo con los resultados de la Tabla 5, la incorporación de aceite esencial de canela en los recubrimientos a base de pectina no influye significativamente sobre su opacidad. Al contrario de estos resultados, estudios previos indican que la adición del aceite esencial en películas provoca un aumento de la opacidad, ya que el ingrediente activo causa un efecto bloqueador al paso de la luz a través de la película. Por ejemplo en

una investigación donde desarrollaron películas a base de pectina con aceite esencial de limón determinaron la opacidad de 0,29 sin aceite y de 0,35 con aceite, demostrando que la incorporación de aceites esenciales incrementa la opacidad en las películas (Akachat et al., 2025). El aumento en la opacidad se atribuyó a la dispersión de las gotas de lípidos dentro de la red de la película, ya que introduce un índice de refracción distintivo que induce la dispersión de la luz (Sánchez-González et al., 2009). Sin embargo, las diferencias respecto a la presente investigación sugieren que la concentración de aceite esencial es tan baja que evita el aumento estadísticamente significativo de la opacidad de los materiales.

4.2.4 FTIR

La Figura 4 muestra los espectros FTIR de las películas de pectina con y sin ingrediente activo.

Figura 4: *Espectro FTIR película sin ingrediente activo y película con ingrediente activo*



El espectro FTIR-ATR de la pectina mostró los picos característicos de este polímero. La señal 1735 cm^{-1} estuvo asociado con el estiramiento C=O de los grupos metilésteres presentes en la pectina (Güzel & Akpınar, 2019). El pico a 1015 cm^{-1} se asoció con el estiramiento C-O-C presente en el ácido poligaracturónico y polisacáridos asociados (Younis & Zhao, 2019). Las bandas anchas detectadas a 3297 cm^{-1} y 3247 cm^{-1} correspondieron a los enlaces O–H libres (Del Angel, 2019). El pico a 2909 cm^{-1} se asoció con las vibraciones de los enlaces C–H (metilo y metileno) presentes en la cadena pectínica (Kozioł et al., 2022). Los picos a 1173 cm^{-1} y 1184 cm^{-1} se asociaron con el estiramiento C – O de los anillos presentes en el ácido galacturónico (Bhat et al., 2024).

La película con el aceite esencial de canela evidenció los mismos picos detectados en la película de pectina; esto pudo deberse a que el aceite no es 100% puro y por lo tanto la presencia de cinamaldehído no pudo ser detectada por su mínima cantidad con respecto al polímero.

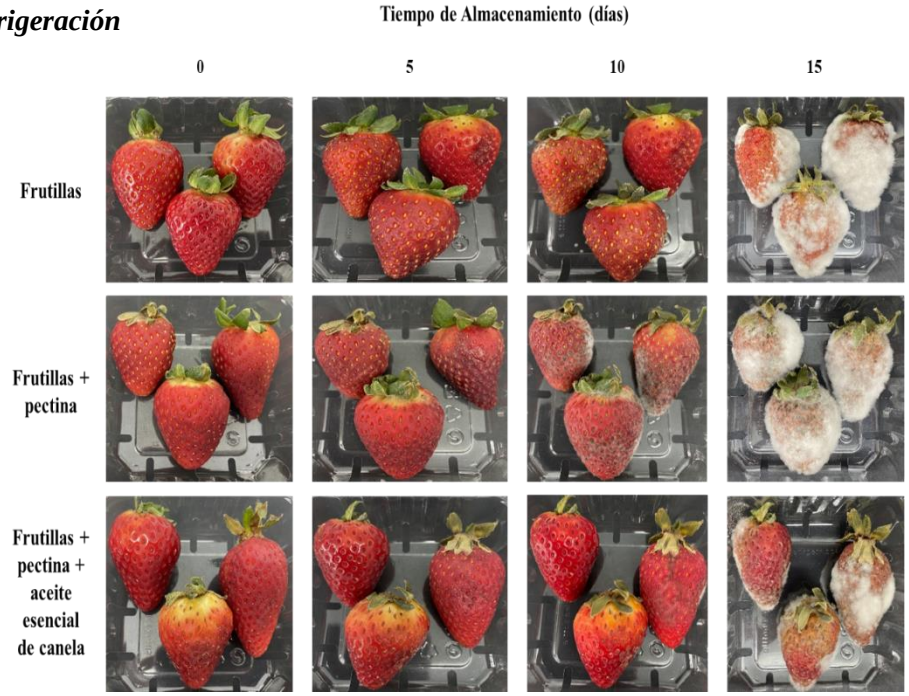
4.3 Evaluación de la efectividad del recubrimiento en frutillas

4.3.1 Crecimiento microbiano

La evaluación del crecimiento microbiano en alimentos es un factor clave para la conservación durante su almacenamiento y transporte (Guevara, 2022). En las frutillas, los mohos grises tales como *Rhizopus sp* y *Botrytis cinérea* son principales agentes causantes de su deterioro durante el almacenamiento (Caner et al., 2025). *Rhizopus sp* se presenta como manchas descoloridas en la superficie del fruto, este se pone blando y pierde firmeza (Sallato et al., 2007) y *Botrytis cinérea* empieza con manchas pequeñas color marrón y conforme avanza la infección las manchas se expanden, el fruto se ablanda y aparece un micelio más esporas color gris (Mertely et al., 2018).

La Figura 5 muestra los resultados de la evaluación del crecimiento microbiano en las frutillas durante 15 días de almacenamiento.

Figura 5: *Crecimiento microbiano en frutillas durante el almacenamiento a 4°C en refrigeración*



Las frutillas sin recubrimiento mostraron un ligero crecimiento fúngico al día 10, y posteriormente, las frutillas fueron totalmente contaminadas por el hongo al día 15. De forma similar, las frutillas con el recubrimiento no activo presenciaron el micelio característico de los hongos al día 10, siendo totalmente contaminadas en el día 15. En este caso, la pectina pudo favorecer el crecimiento de los hongos, ya que la película es hidrofílica, por lo que pudo incrementar la retención de humedad en la superficie del fruto, creando un microambiente semi-húmedo y pegajoso favorable para el crecimiento de mohos (Nastasi et al., 2022). Por el contrario, las frutillas con recubrimiento y el aceite esencial se mantuvieron exentas de contaminación a los 10 días y mostraron crecimiento fúngico a partir de los 15 días de almacenamiento. Este hecho demuestra que la incorporación de aceite esencial de canela al recubrimiento, proporciona propiedades de barrera contra la humedad que evita la contaminación por hongos, y que libera compuestos antimicrobianos como el cinamaldehído hacia la superficie del fruto, disminuyendo su crecimiento (Said & Lee, 2025). Dicho comportamiento ha sido reportado en otros estudios. Por ejemplo, Trinetta et al. (2020) aplicaron películas de pululano activas con nano partículas lipídicas sólidas de cinamaldehído sobre fresas almacenadas a 3°C; estas fresas mostraron un menor recuento de mohos que las fresas sin recubrimiento a los 10 días de almacenamiento. Otra investigación realizada por Hernández et al. (2021) demostró que un recubrimiento a base de pectina con aceite esencial de limón y reuterina fue eficaz para reducir el crecimiento de mohos en frutillas tratadas y almacenadas bajo refrigeración durante 12 días.

Es importante señalar que, debido a la presencia de hongos en todas las muestras al día 15, la determinación de la pérdida de peso, pH, grados brix y acidez titulable se realizó hasta el día 10 de almacenamiento.

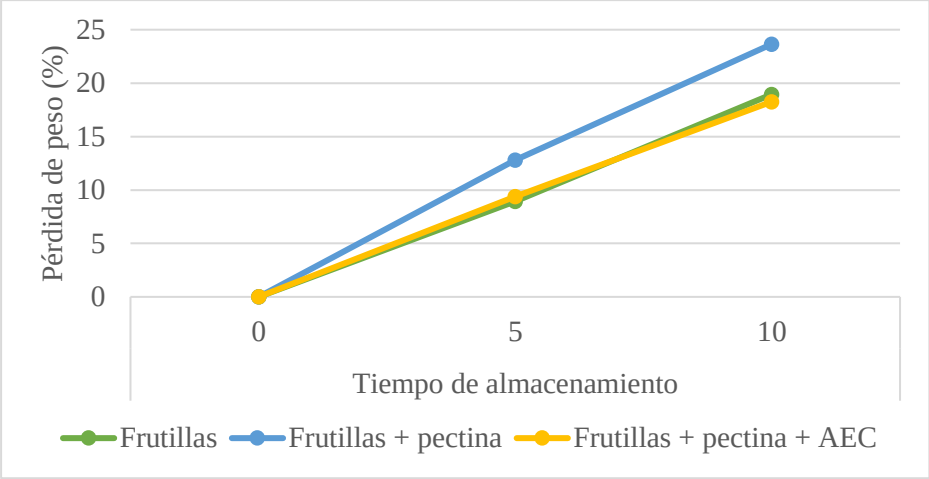
4.3.2 Pérdida de peso

La disminución de peso se asocia con la pérdida de agua del fruto al exterior, el cual ocurre mediante el proceso de transpiración que realizan este tipo de alimentos después de ser cosechados (Manda & Hassanpour, 2024).

En la Figura 6 se representa el comportamiento de la pérdida de peso de las muestras durante los 10 días de almacenamiento. Al fin de este tiempo, las frutillas no recubiertas tuvieron una pérdida de peso de 18,95 ± 1,95%, las frutillas recubiertas con pectina sin activo perdieron el 23,65 ± 1,65% de peso, y las frutillas recubiertas con pectina y aceite esencial de canela tuvieron una pérdida de peso del 18,26 ± 0,43% durante 10 días de almacenamiento. Al comparar estos resultados, se demuestra que no existen diferencias significativas ($p<0,05$) en la pérdida de peso de las frutillas con y sin recubrimiento, independientemente que éste sea activo o no. Este hecho puede atribuirse a la hidrofilicidad de la pectina, lo que pudo provocar que se disuelva por el agua presente en el ambiente y el alimento, sin ejercer un efecto barrera contra la pérdida de agua del fruto (Dhall, 2013).

Los resultados de esta investigación son cercanos a los obtenidos por (Ruiz, 2015), quien desarrolló un recubrimiento a base de agar, almidón de yuca y aceite de canela para frutillas, las cuales al día 10 de almacenamiento pierden 17% de peso.

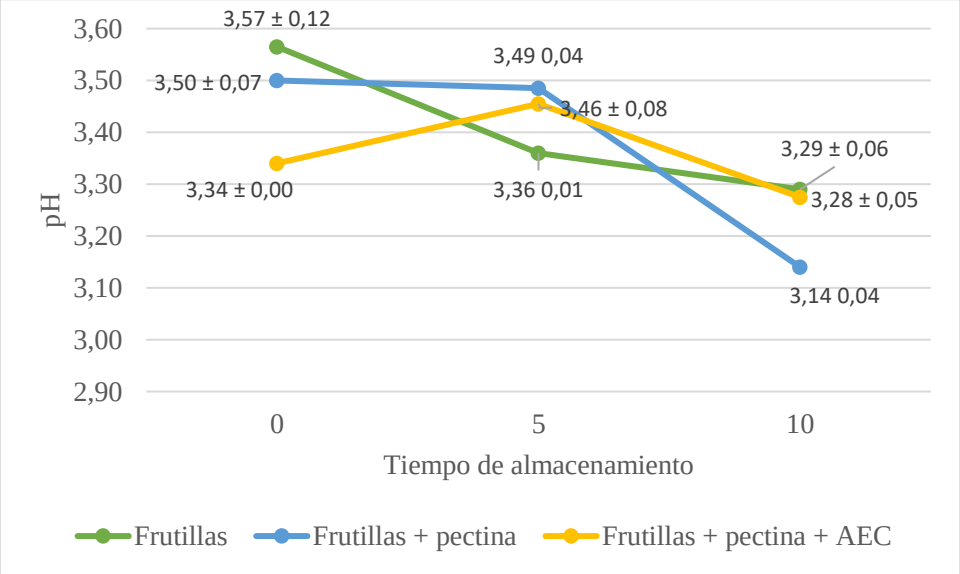
Figura 6: *Pérdida de peso*



4.3.3 pH

El pH es un factor importante en frutas frescas ya que de este depende el crecimiento microbiano. Durante el almacenamiento de las frutillas, el pH tiende a aumentar debido al consumo de ácidos orgánicos por el metabolismo respiratorio; conforme aumenta la maduración del fruto tiende a pierde acidez y el pH tiende a la alcalinidad (Alnıak et al., 2025). Figura 7 muestra los resultados del pH de los tratamientos en frutillas, durante los 10 días de almacenamiento.

Figura 7: *Resultados de pH*



Tal como se muestra en la Figura 7, el pH de las muestras fue disminuyendo durante el almacenamiento, sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos ($p<0,05$). La disminución del pH se puede atribuir al hecho de que la pectina es un polímero hidrofílico, lo cual pudo provocar un aumento en la humedad superficial y por tanto una mayor producción de ácidos (Cedeño, 2019). Entonces el pH disminuye por la acumulación relativa de ácidos orgánicos como el cítrico, el málico, en menor cantidad ácido ascórbico y otros metabolitos derivados de la respiración y el metabolismo microbiano.

El pH de las frutillas sin recubrimiento y con el recubrimiento disminuyó entre un 2 y 8%. Por el contrario, las frutillas recubiertas únicamente con pectina mostraron una reducción del 12% del valor de pH inicial. Estos resultados se relacionan con el estudio de recubrimientos en frutillas que reporta valores de pH entre 3,4 a 3,7 hasta los 12 días de almacenamiento, en dicho estudio, los recubrimientos fueron a base de gelatina y formaron una capa protectora que impide la entrada de oxígeno y detiene la actividad microbiana lo que mantiene estable el pH de la fruta (Barrazueta-Rojas et al., 2018). Así también, Villanueva et al. (2021) determinaron un valor de pH de 3,43 en fresas recubiertas con almidón y aceite esencial de canela y clavo de olor luego de 14 días de almacenamiento.

4.3.4 Grados brix °

El valor de sólidos solubles totales (ºBrix) describe el contenido total de azúcar en la fresa y es determinante en la calidad post cosecha (FAO, 2018). Estudios afirman que los grados brix para las frutillas oscila entre 7 y 13, y este valor cambia por varios factores tales como la temperatura de almacenamiento (López, 2023). La tabla 6 muestra los resultados de los grados brix de las frutillas recubiertas y no recubiertas, medidos durante los 10 días de almacenamiento.

Tabla 6: *Resultados de Grados brix*

	Tiempo de Almacenamiento		
Tratamientos	**0**	**5**	**10**
Frutillas	$10,00 \pm 0,01^{a}$	$8,50 \pm 0,71^{b}$	$8,50 \pm 0,71^{a}$
Frutilla + pectina	$10,50 \pm 0,71^{a}$	$11,50 \pm 0,70^{a}$	$9,50 \pm 0,71^{a}$
Frutilla + pectina + AEC	$11,00 \pm 1,41^{a}$	$11,00 \pm 0,01^{a}$	$10,00 \pm 0,01^{a}$

Letras superíndices (a y b) indican diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$), de acuerdo con el análisis de varianza y test de Tukey.

Se observa que para las frutillas no tratadas hay una disminución del 15% de los grados brix a los 10 días de almacenamiento. Sin embargo, la concentración de sólidos solubles en las frutillas recubiertas es más estable, habiendo una disminución del 10%.

Además, en las frutillas no recubiertas se observa que esta disminución es inmediata (a los 5 días de almacenamiento), mientras que en las frutillas recubiertas la disminución de grados Brix es gradual. Este hecho se asocia a que las frutillas no recubiertas usan los azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa) como sustratos respiratorios, lo que reduce el contenido de los grados brix (Nunes et al., 2005). Por el contrario, el recubrimiento logra que las frutillas tengan una tasa de respiración menor y en consecuencia se mantengan el nivel de carbohidratos en el tejido del fruto y contenido de azúcar estable durante el almacenamiento (Zebua et al., 2025). Además, como se observó en el apartado 4.3.1, las frutillas con el recubrimiento activo inhiben el crecimiento de hongos y evitan la fermentación de los azúcares.

Estos resultados se relacionan con un estudio realizado por García et al. (2024), en el que frutillas tratadas con un recubrimiento a base de pectina con limoneno también disminuyeron levemente su contenido de sólidos solubles a los 15 días de almacenamiento de 10,80 a 9,30.

Por otra parte, es importante mencionar que los resultados se encuentran dentro de lo establecido por la norma NTE INEN 2427-772, que indica que las frutas frescas, como las frutillas, deben presentar una concentración de sólidos solubles (grados brix) mayor a 9.

4.3.5 Acidez titulable

La acidez es uno de los componentes comunes de sabor en las frutas. La acidez se expresa en porcentaje de ácido cítrico por 100 gramos de gramos de material vegetal fresco (%ac. Cítrico/100g), y este es uno de los ácidos predominantes en frutillas (Verde et al., 2010). La Tabla 7 presenta los resultados de acidez titulable de los tratamientos medidos durante los 10 días de almacenamiento.

Tabla 7: *Resultados de Acidez Titulable*

	Tiempo de Almacenamiento		
Tratamiento	**0**	**5**	**10**
Frutillas	$0,66 \pm 0,23^{a}$	$0,63 \pm 0,02^{a}$	$0,52 \pm 0,08^{a}$
Frutilla + pectina	$0,93 \pm 0,16^{a}$	$0,60 \pm 0,10^{a}$	$0,65 \pm 0,18^{a}$
Frutilla + pectina + AEC	$0,57 \pm 0,14^{a}$	$0,54 \pm 0,003^{a}$	$0,62 \pm 0,01^{a}$

Letras superíndices similares indican que no existen diferencias significativas en los valores de acidez titulable, entre los tratamientos a los diferentes tiempos de almacenamiento ($p>0,05$), de acuerdo con el análisis de varianza y test de Tukey.

Los valores de acidez de frutillas mostraron un comportamiento irregular en las muestras, sin diferencias significativas entre tratamientos para cada día. De forma general. Se observa que la acidez titulable de frutillas sin recubrimiento disminuye

ligeramente a los 10 días de almacenamiento. Por el contrario, las frutillas con recubrimiento no activo, provocan una disminución drástica del valor de acidez titulable, mientras que las frutillas con recubrimiento activo mantienen estable este parámetro.

La disminución de la acidez titulable en frutillas se explica por su naturaleza perecedera, procesos de respiración y senescencia (Azam et al., 2019). La presencia de pectina provoca una mayor disminución de la acidez titulable en las frutillas probablemente debido a que al ser un bioplímero hidrofílico genera un microambiente de mayor humedad superficial, que fomenta la actividad metabólica de las frutillas y la actividad microbiana; al haber microorganismos estos pueden utilizar los ácidos orgánicos como el cítrico y málico como sustrato respiratorio**,** lo cual reduce su concentración y con ello la acidez titulable. Sin embargo, es evidente que el aceite esencial de canela logró reducir este efecto, asociado a la acción del cinamaldehído como componente del aceite esencial de canela, el cual presenta actividad antifúngica y antibacteriana, además que reduce la respiración del fruto y por ende, el consumo de ácidos orgánicos (Ye et al., 2013).

Un estudio realizado por Barrazueta et al. (2018), determinaron que las frutillas tratadas con un recubrimiento a base de gelatina con pectina y cera de abeja bajo refrigeración presentaron un leve aumento de 0,71 a 0,73 en el porcentaje de acidez titulable. En otro estudio realizado por García et al. (2024) también evidenciaron un aumento de la acidez titulable en fresas recubiertas con pectina y limoneno de 0,24% a 1,07%, almacenadas durante 12 días. Este fenómeno pudo deberse a las condiciones de almacenamiento ya que la temperatura de 4 °C puede retardar la actividad enzimática relacionada con compuestos ácidos.

En cuanto a regulación, los resultados obtenidos de acidez titulable son óptimos ya que la norma INEN 411 (1979) indica que la frutilla debe tener un porcentaje máximo de 0,80% de acidez titulable.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se desarrolló un recubrimiento comestible con propiedades anti fúngicas a partir de pectina y aceite esencial de canela.
- La película con aceite esencial de canela presentó mayor espesor respecto al material no activo. Sin embargo, no se evidenciaron cambios significativos en el color ni opacidad de éstos.
- El recubrimiento activo presentó eficiencia en la conservación de las frutillas, evitando el crecimiento fúngico hasta los 10 días de almacenamiento. A pesar de que las frutillas recubiertas y no recubiertas no presentaron diferencias significativas en la pérdida de peso, pH, grados brix, acidez titulable, el recubrimiento activo evitó la disminución de la concentración de azúcar y estabilizó la acidez titulable de las frutillas durante su almacenamiento, considerando estos parámetros dentro de los rangos aceptables para el consumo de acuerdo con la normativa ecuatoriana para frutas frescas.

5.2. Recomendaciones

- Evaluar el uso de emulsionantes naturales, para favorecer la homogeneidad del recubrimiento y la estabilidad de la solución pectina-aceite esencial.
- Optimizar la formulación del recubrimiento mediante ajustes de concentraciones de pectina y aceite esencial de canela, para mejorar su efecto barrera contra la pérdida de agua y conservar los sólidos solubles.
- Incorporar pruebas con el objetivo de conocer la aceptabilidad del recubrimiento por parte del consumidor, especialmente en relación con el aroma y sabor que podría aportar el aceite esencial de canela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, R. (2011). *Estudio de la variación enzimática proteolítica del latex del babaco (Vasconcelle heibornii cv babaco) en función de la edad del fruto*. Universidad Politécnica Nacional.

Adelakun, O. E., Oyelade, O. J., & Olanipekun, B. F. (2016). Use of Essential Oils in Food Preservation. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 71–84. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00007-9

Aguilar-Duran, J. A., Garcí-a León, I., & Quiroz Velásquez, J. D. C. (2020). Alargamiento De La Vida De Anaquel De Las Frutas Por El Uso De Biopelículas. *Revista Boliviana de Química*, *37*(1), 40–45. https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.6

Akachat, B., Himed, L., Salah, M., D'Elia, M., Rastrelli, L., & Barkat, M. (2025). Development of Pectin-Based Films with Encapsulated Lemon Essential Oil for Active Food Packaging: Improved Antioxidant Activity and Biodegradation. *Foods 2025, Vol. 14, Page 353*, *14*(3), 353. https://doi.org/10.3390/FOODS14030353

Alnıak, N. Y., Caner, C., & Yüceer, M. (2025). The Individual and Combined Effects of Electrolyzed Water and Chitosan Coating Applications on the Storage Stability of Fresh Strawberries. *Food and Bioprocess Technology*, *18*(6), 5683–5699. https://doi.org/10.1007/S11947-025-03791-Z/TABLES/5

Amariei, S., Ursachi, F., & Petraru, A. (2022). Development of New Biodegradable Agar-Alginate Membranes for Food Packaging. *Membranes*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/membranes12060576

Anaya-Esparza, L. M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Sánchez-Burgos, J. A., Romero-Toledo, R., & Montalvo-González, E. (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *23*, 1–14. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.241

Aparicio-Huablocho, J. A., Neira, E., Ramos M., P., Aparicio-Huablocho, J. A., Neira, E., & Ramos M., P. (2024). Extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao y su caracterización mediante análisis de FT-IR. *Tecnia*, *34*(1), 42–50. https://doi.org/10.21754/TECNIA.V34I1.2113

Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, *48*, 51–62. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.12.001

Azam, M., Ejaz, S., Naveed Ur Rehman, R., Khan, M., & Qadri, R. (2019). Postharvest Quality Management of Strawberries. *Strawberry - Pre- and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality*. https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.82341

Babbar, N., Oberoi, H., Uppal, D., & Patil, R. (2010). *Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues*.

Bahmid, N. A., Dekker, M., Fogliano, V., & Heising, J. (2021). Development of a

moisture-activated antimicrobial film containing ground mustard seeds and its application on meat in active packaging system. *Food Packaging and Shelf Life*, *30*, 100753. https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2021.100753

Barrazueta-Rojas, S. G., Falconí, J. F., Ojeda, M. N. N., Oleas-López, J. M., & Mendoza-Zurita, G. X. (2018). Pysicochemical properties and application of edible coatings in strawberry Fragaria × ananassa) preservation. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin*, *71*(3), 8631–8641. https://doi.org/10.15446/rfnam.v71n3.73548

Begum, R., Aziz, M., Uddin, M., & Yusof, Y. (2014). *Characterization of Jackfruit (Artocarpus heterophyllus) Waste Pectin as Influenced by Various Extraction Conditions*.

Bello, J., Balois, R., Juárez, P., Alia, I., Peña, C., Jiménez, J., Sumaya, M., & Jiménez, E. (2016). Coatings based on starch and pectin from 'Pear' banana (Musa ABB), and chitosan applied to postharvest 'Ataulfo' mango fruit. *Revista Chapingo*, *22*, 209–218. https://doi.org/10.5154/r. rchsh.2015.09.037

Beltrán, A. (2016). *Agronegocios*. http://agronegociosecuador.ning.com/page/fresas-su-produccion-y

Bhat, M. I., Rashid, S. J., Ahmad, M. I., Rafiq, S., Fayaz, I., Mir, M. J., Amin, T., Majid, D., Dar, B. N., & Makroo, H. A. (2024). Comparative study on thermo-mechanical, structural and functional properties of pectin extracted from immature wasted apples and commercial pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*, 127658. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.127658

Boiteux, J., Fernández, M. A., Espino, M., Gomez, J. V. F., Azcarate, S., Pizzuolo, P., & Silva, M. F. (2021). Recubrimientos bioactivos a base de nades: como tecnología sostenible para la conservación de frutas en postcosecha. *XI Congreso Argentino de Química Analítica*, 1–2. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/164559/CONICET_Digital_Nro.e2bbc5ca-e4b9-409f-b49f-5e55df5a0c39_D.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Brito, K. (2022). *Evaluación Comparativa de la Pectina obtenida de la Cáscara de Naranja y del Quitosano como Recubrimientos Comestibles para Fresa*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BRITO MARIDUEÑA KAREN ALEXIA.pdf

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, *94*(3), 223–253. https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2004.03.022

Caner, C., Pala, CU, y Yuceer, M. (2025). El impacto del ozono y el envasado en atmósfera modificada de equilibrio en la estabilidad de almacenamiento y los indicadores de salud de las ciruelas frescas. *Ciencia y Tecnología de Los Alimentos Internacional*. https://doi.org/https://doi.org/10.1177/10820132241263198

Cañizares, R., & Córdova, A. (2015). Caracterización fisicoquímica de pectinas extraídas de frutas tropicales ecuatorianas. *Revista Politécnica*, *36*(2), 45–51.

Cedeño Macias Jessy Stephanie. (2019). *Incremento de pH como control de Botrytis, Rhizopus, Salmonella y Escherichia coli presentes en la frutilla (Fragaria x*

ananassa) [Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/5438/1/ULEAM-AGROIN-0072.pdf

Chaichi, M., Badii, F., Mohammadi, A., & Hashemi, M. (2023). Novel bioactive composite films based on pectin-nanocellulose-synergistic triple essential oils: development and characterization. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(8), 1794–1805.

Chimborazo, L. (2014). *Analisis de la produccción de fresa y su relación con el nivel de ingresos de los productores de la parroquia Ambatillo del cantón Ambato del primer semestre 2013* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/20867/1/T2794i.pdf

Chordi, S. (2013). *Contenido fenólico y capacidad antioxidante de fresa mínimamente procesada sometida a tratamientos de conservación por pulsos de luz de alta intensidad* [Universidad de Leida]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/f20b600a-b520-41ee-927d-4efe1e096267/content#:~:text=La composición química de la,1%2C3%25 de sacarosa.

de Souza, A. G., Barbosa, R. F. da S., Quispe, Y. M., & Rosa, D. dos S. (2022). Essential oil microencapsulation with biodegradable polymer for food packaging application. *Journal of Polymers and the Environment*, *30*(8), 3307–3315. https://doi.org/10.1007/S10924-022-02436-Y

Del Angel, F. (2019). *PELÍCULAS PARA RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS BASE PECTINA, ALGINATO Y QUITOSANO* [Instituto Tecnológico de Ciudad Madero]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5092/1/PELÍCULAS PARA RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS BASE PECTINA%2CALGINATO Y QUITOSANO.pdf

Dirpan, A., Deliana, Y., Ainani, A. F., Irwan, & Bahmid, N. A. (2024). Exploring the Potential of Pectin as a Source of Biopolymers for Active and Intelligent Packaging: A Review. *Polymers*, *16*(19), 2783. https://doi.org/10.3390/POLYM16192783

Dranca, F., & Orolan, M. (2018). *Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications*.

Falconí, J. F. (2016). *EMPLEO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CONSERVACIÓN DE Fragaria x ananassa (FRESA)* [Escuela Superior Politécnica del Chimborazo]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/aee848e9-952e-4cb0-8ab0-9285b0fb2057/content

FAO. (2018). The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition -Policy Support and Governance-. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, (Vol. 7, Issue 7). www.fao.org/publications%0Ahttp://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1152267/

Fernandez, D., & Bautista, S. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una

alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(3)*, 52–57.

Firdaus, S., Ahmad, F., & Zaidi, S. (2024). Preparation and characterization of biodegradable food packaging films using lemon peel pectin and chitosan incorporated with neem leaf extract and its application on apricot fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, *263*, 130358. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.130358

Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed oil. *Food Technology and Biotechnology*, *54*(1), 78–89. https://doi.org/10.17113/ftb.54.01.16.3889

García Vera, I., Silva Jara, J. M., & Velázquez Carriles, C. A. (2024). Recubrimiento de pectina y un híbrido de hidroxilaminar de zinc con limoneno para extender la vida de anaquel de fresas. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, *11*(1), 1–8. https://doi.org/10.26495/x8vgh660

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, *28*(1), 9–19. https://doi.org/10.1016/J.NUT.2011.08.009

Guevara, C. (2022). *Caracterización y evaluación de la actividad antimicrobiana de una cubierta biodegradable de almidón de yuca enriquecida con aceite esencial de lavanda Lavandula angustifolia mill.* [Universidad Técnica de Ambato]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/fb8de7c4-4c92-43c4-bbe7-4095dde5695f/content

Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioproducts Processing*, *115*, 126–133. https://doi.org/10.1016/J.FBP.2019.03.009

Hancco, M. (2017). *Elaboración de un recubrimiento comestible y su comparación con recubrimiento comercial aplicado en naranja (Citrus sinensis) Valencia*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4215/Hancco_Condori_Madeleine.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Henao, E., Guerra, A., & Henao, C. (2012). *Extracción y Caracterización de Pectina a partir de Cáscaras de Plátano para Desarrollar un Diseño General del Proceso de Producción* [Universidad de Cartegena]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/d81b4aed-f27e-4b56-952f-1bdd1c9bd77c/content

Hernández, J., Orta, E., González, S., Montoya, C., Sepúlveda, D., & Ortiz, Y. (2021). Evaluación de la efectividad de la reuterina en recubrimientos comestibles de pectina para prolongar la vida útil de las fresas durante el almacenamiento en frío. *Shelf Life*.

Huamani-Palomino, R. G., M, P. R., Oliveira, G., Kock, F. V. C., Venâncio, T., & Córdova, B. M. (2025). Structural elucidation of pectin extracted from cocoa pod husk (Theobroma Cacao L.): Evaluation of the degree of esterification using FT-IR and 1H NMR. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *15*(2), 2047–2061. https://doi.org/10.1007/S13399-023-04082-3/METRICS

Iturralde, M. de la P. (2000). *Producción, Cultivo y Comercialización de Babaco* [Univeridad de las Américas]. file:///C:/Users/SUPERTRONICA/Downloads/UDLA-EC-TINI-2000-01.pdf

Jadhav, H. B., & Choudhary, P. (2024). Emerging techniques for the processing of food to ensure higher food safety with enhanced food quality: a review. *Discover Food 2024 4:1*, *4*(1), 1–29. https://doi.org/10.1007/S44187-024-00089-5

Ju, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2019). Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(15), 2467–2480. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402;SUBPAGE:STRING:ACCESS

Kozioł, A., Środa-Pomianek, K., Górniak, A., Wikiera, A., Cyprych, K., & Malik, M. (2022). Structural Determination of Pectins by Spectroscopy Methods. *Coatings*, *12*(4), 546. https://doi.org/10.3390/COATINGS12040546/S1

Lazaridou, A., & Biliaderis, C. (2020). Películas y recubrimientos comestibles con pectina. *Technological and Physiological Properties*, 99–123.

Liew, S., Chin, N., & Yusof, Y. (2014). *Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels*.

Lin, W., Zhang, Y., Huang, J., & Li, Z. (2024). Fluorescence and pectinase double-triggered chitosan/pectin/calcium propionate/curcumin-β-cyclodextrin complex film for pork freshness monitoring and maintenance. *International Journal of Biological Macromolecules*, *257*, 128603. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.128603

López, G. (2023). *ntonces, en tu caso, lo más correcto sería indicar que la disminución del pH se debe principalmente a la acumulación relativa de ácidos orgánicos como el cítrico y el málico, junto con posibles contribuciones de ácido ascórbico y otros metabolitos derivad*. *4*.

Manda, K., & Hassanpour, H. (2024). Changes in Postharvest Quality and Physiological Attributes of Strawberry Fruits Influenced by l-Phenylalanine. *Food Science Nutr*, *4*(12). https://doi.org/10.1002/fsn3.4564

Medina, M., Ávila, J., & Ruales, J. (2016). DISEÑO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE BIOACTIVO PARA APLICARLO EN LA FRUTILLA (Fragaria vesca) COMO PROCESO DE POSTCOSECHA. *Revista Iberoamericana de Tecnología*, *17*(2), 276–287. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/813/81349041015.pdf

Mertely, J., Oliveira, M., & Peres, N. (2018). Botrytis Fruit Rot or Gray Mold of Strawberry. *Plant Pathology*, *1*. https://orcid.org/0000-0001-5862-7963

México, M., Carlos, I., Trujillo, A. V., Rosmery, I., Aguirre, V., Wile, I., Patiño, A., Gomer, G., Cabello, C., Leny, M. L., & Evangelista, T. (2021). "Aplicación de Aceite Esencial de Canela (cinnamomum verum) y Clavo de Olor (syzygium aromaticum) en la cobertura comestible y tiempo de vida útil de la Fresa (fragaria ananassa)." *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *5*(2), 1504–1526. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V5I2.367

Nastasi, J. R., Kontogiorgos, V., Daygon, V. D., & Fitzgerald, M. A. (2022). Pectin-based films and coatings with plant extracts as natural preservatives: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, *120*, 193–211. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.01.014

Ngo, T. M. P., Nguyen, T. H., Dang, T. M. Q., Tran, T. X., & Rachtanapun, P. (2020). Characteristics and Antimicrobial Properties of Active Edible Films Based on Pectin and Nanochitosan. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(6), 2224. https://doi.org/10.3390/IJMS21062224

NTE INEN-ISO, 750:2013. (2013). Productos Vegetables Y De Frutas – –, Determinación Del Contenido De Estaño Absorción, Método De Espectrometría De (Idt)., Atómica De Llama. *Inen Instituto Ecuatoriano De Normalización Nte Inen-Iso 3961:2013*, *PRIMERA ED*. file:///C:/Users/gabig/Downloads/NORMA_TECNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_ISO_7.pdf

Nunes, M. C. N., Brecht, J. K., Morais, A. M. M. B., & Sargent, S. A. (2005). Possible influences of water loss and polyphenol oxidase activity on anthocyanin content and discoloration in fresh ripe strawberry (cv. Oso Grande) during storage at 1°C. *Journal of Food Science*, *70*(1). https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2005.TB09069.X

Patil, V., Shams, R., & Dash, K. K. (2023). Techno-functional characteristics, and potential applications of edible coatings: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100886. https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100886

Picot-Allain, M. C. N., Ramasawmy, B., & Emmambux, M. N. (2022). Extraction, Characterisation, and Application of Pectin from Tropical and Sub-Tropical Fruits: A Review. *Food Reviews International*, *38*(3), 282–312. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1733008

Pirsa, S., & Mohammadi, B. (2021). Conducting/biodegradable chitosan-polyaniline film; Antioxidant, color, solubility and water vapor permeability properties. *Main Group Chemistry*, *20*(2), 133–147. https://doi.org/10.3233/MGC-210007

Pontiago, S., Trejo, M., & Lira, A. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacteriano a base de aceite esencial de orégano para conservación de papaya “Maradol.” *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *16*(1), 58–63.

Popescu, P. A., Palade, L. M., Nicolae, I. C., Popa, E. E., Miteluț, A. C., Drăghici, M. C., Matei, F., & Popa, M. E. (2022). Chitosan-Based Edible Coatings Containing Essential Oils to Preserve the Shelf Life and Postharvest Quality Parameters of Organic Strawberries and Apples during Cold Storage. *Foods 2022, Vol. 11, Page 3317*, *11*(21), 3317. https://doi.org/10.3390/FOODS11213317

Priyadarshi, R., Sauraj, Kumar, B., Deeba, F., Kulshreshtha, A., & Negi, Y. S. (2018). Chitosan films incorporated with Apricot (Prunus armeniaca) kernel essential oil as active food packaging material. *Food Hydrocolloids*, *85*, 158–166. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.07.003

Ramos dos Reis, L., Pesamosca, E., Salvador, M., Hickmann, S., & Oliveira, A. (2018). *Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit*.

Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Melo, N. R. de, & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, *61*, 132–140. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2016.11.021

Ruiz, M. (2015). *Diseño de un Recubrimiento Comestible Bioactivo para Aplicarlo en la Frutilla (Fragaria vesca) como Proceso de Postcosecha* [Escuela Politécnica Nacional]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11181/1/CD-6412.pdf

Said, N. S., & Lee, W. Y. (2025). Pectin-Based Active and Smart Film Packaging: A Comprehensive Review of Recent Advancements in Antimicrobial, Antioxidant, and Smart Colorimetric Systems for Enhanced Food Preservation. *Molecules*, *30*(5), 1144. https://doi.org/10.3390/MOLECULES30051144

Saiz Vega, J. M., & Cobo Cano, M. (2020). *Refractómetro y método de medida del índice de refracción de una substancia*. https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/24827

Sallato, B., Torres, R., Zoffoli, J., & Latorre, B. (2007). Effect of boscalid on postharvest decay of strawberry caused by Botrytis cinerea and Rhizopus stolonifer. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *1*(5). https://doi.org/https://doi.org/10.5424/sjar/2007051-224

Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2009). Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids*, *23*(8), 2102–2109. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2009.05.006

Santoso, B., Sinaga, T. L. D., Priyanto, G., & Hermanto. (2021). Effect of natural active compound addition on mechanical and functional properties of canna starch based edible film. *Food Science and Technology*, *42*, e51020. https://doi.org/10.1590/FST.51020

Silva, Â., Duarte, A., Sousa, S., Ramos, A., & Domingues, F. C. (2016). Characterization and antimicrobial activity of cellulose derivatives films incorporated with a resveratrol inclusion complex. *LWT*, *73*, 481–489. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.06.043

Spinei, M., Oroian, M., & Ursachi, V. F. (2024). Characterization of biodegradable films based on carboxymethyl cellulose and citrus pectin films enriched with bee bread oil and thyme oil. *LWT*, *214*, 117088. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2024.117088

Trinetta, V., McDaniel, A., Batziakas, K. G., Yucel, U., Nwadike, L., & Pliakoni, E. (2020). Antifungal Packaging Film to Maintain Quality and Control Postharvest Diseases in Strawberries. *Antibiotics*, *9*(9), 618. https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS9090618

Vasquez, R., Ruesga, L., D'addosio, R., Páez, G., & Marín, M. (2008). Extracción de

pectina a partir de la cáscara de plátano (Musa AAB, subgrupo plátano) clon Hartón. *Revista de La Facultad de Agronomía*, *25*(2), 318–333. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182008000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Vázquez-Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra-Domínguez, E., Díaz-Sobac, R., Vázquez-Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra-Domínguez, E., & Díaz-Sobac, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*, *13*(2), 152–164. https://doi.org/10.29059/CIENCIAUAT.V13I2.1105

Verde, R., Maria Mendes Aroucha, E., Sc em Produção Vegetal, D., Henrique de Lima Leite Sc D Sc em Produção Vegetal, R. D., Célia Aroucha Santos Bióloga, M., em Produção Vegetal, M., & Sobreira Souza, M. (2010). Acidez em frutas e hortaliças. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, ISSN-e 1981-8203, Vol. 5, Nº. 2, 2010*, *5*(2), 32. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7450230&info=resumen&idioma=ENG

Villanueva, C., Vilca, R., Alejos, I., Cotrina, G., & Tello, L. (2021). Aplicación de Aceite Esencial de Canela (cinnamomum verum) y Clavo de Olor (syzygium aromaticum) en la cobertura comestible y tiempo de vida útil de la Fresa (fragaria ananassa). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *52*, 1504. https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/367/456

Wang, H., Fei, S., Wang, Y., Zan, L., & Zhu, J. (2020). Comparative study on the self-assembly of pectin and alginate molecules regulated by calcium ions investigated by atomic force microscopy. *Carbohydrate Polymers*, *231*, 115673. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.115673

Woranuch, S., & Yoksan, R. (2013). Eugenol-loaded chitosan nanoparticles: I. Thermal stability improvement of eugenol through encapsulation. *Carbohydrate Polymers*, *96*(2), 578–585. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.08.117

Yasmin, I., Saeed, M., Pasha, I., & Zia, M. A. (2019). Development of Whey Protein Concentrate-Pectin-Alginate Based Delivery System to Improve Survival of B. longum BL-05 in Simulated Gastrointestinal Conditions. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *11*(2), 413–426. https://doi.org/10.1007/S12602-018-9407-X/METRICS

Ye, H., Shen, S., Xu, J., Lin, S., Yuan, Y., & Jones, G. S. (2013). Synergistic interactions of cinnamaldehyde in combination with carvacrol against food-borne bacteria. *Food Control*, *34*(2), 619–623. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2013.05.032

Younis, H. G. R., & Zhao, G. (2019). Physicochemical properties of the edible films from the blends of high methoxyl apple pectin and chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, *131*, 1057–1066. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.03.096

Zantar, Y., Noutfia, Y., Laglaoui, A., Maurady, A., Alfeddy, M. N., El Abbassi, N., Hassani Zerrouk, M., & Zantar, S. (2025). Impact of a coating of pectin and Cinnamomum Zeylanicum essential oil on the postharvest quality of strawberries

packaged under different modified atmosphere conditions. *Discover Food*, *5*(1), 1–17. https://doi.org/10.1007/S44187-025-00271-3/FIGURES/2

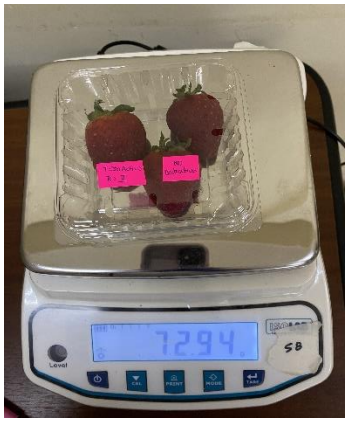
Zebua, D. N., Prima, E. C., Yelliantty, & Garnida, Y. (2025). Effect of a pectin edible coating with lemon peel extract to maintain strawberry fruit's quality during cold storage. *Food and Humanity*, *4*, 100541. https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2025.100541

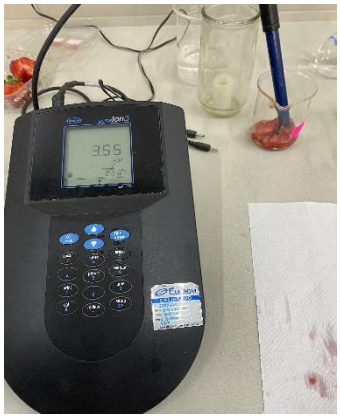
Zhang, Y., Liu, X., Wang, Y., Jiang, P., & Quek, S. Y. (2016). Antibacterial activity and mechanism of cinnamon essential oil against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. *Food Control*, *59*, 282–289. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2015.05.032

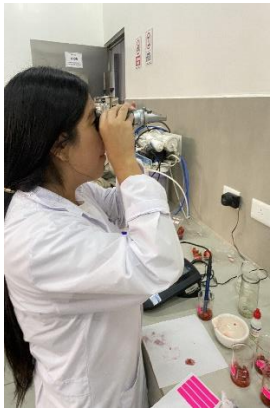
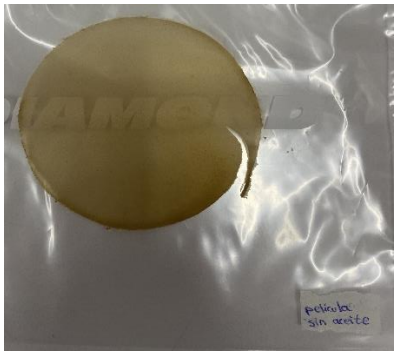
ANEXOS

Fotografías de las formulaciones del recubrimiento

Fotografías de toma de datos







Fotografías de los recubrimientos desarrollados