

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

Aplicación de un recubrimiento comestible con base en pectina y aceite esencial de canela reforzado con celulosa microcristalina para alargar la vida útil de frutillas (*Fragaria ananassa*)

Proyecto de investigación y desarrollo

Micaela Lucía Delgado Salazar

Lucía de los Ángeles Ramírez Cárdenas Ph.D.

Directora del Trabajo de Titulación

José Francisco Álvarez Barreto Ph.D.

Director del Trabajo de Titulación

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito para la obtención del título de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Quito, 15 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Aplicación de recubrimiento comestible con base en pectina y aceite esencial de canela reforzado con celulosa microcristalina para alargar la vida útil de frutillas (*Fragaria ananassa*)

Micaela Lucía Delgado Salazar

Nombre del Director del Programa:	Lucía de los Ángeles Ramírez Cárdenas
Título académico:	Ph.D.
Director del programa de:	Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
Nombre del Decano del colegio Académico:	Eduardo Alba Cabrera
Título académico:	Ph.D.
Decano del Colegio:	Ciencias e Ingenierías.
Nombre del Decano del Colegio de Posgrados:	Hugo Burgos Yáñez.
Título académico:	Ph.D.

Quito, diciembre 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombre del estudiante: Micaela Lucía Delgado Salazar

Código de estudiante: 00323948

C.I.: 1719508325

Lugar y fecha: Quito, 15 de diciembre de 2022.

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de mis padres Vicente y Margoth, ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores referentes de vida. Les dedico a ustedes queridos padres, como una meta más conquistada.

Nada hubiera sido posible sin ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta meta.

A mis padres Vicente y Margoth por brindarme su apoyo incondicional.

A mi familia en general, tíos, tíos, primos y primas por brindarme su cariño y siempre estar pendientes de mí.

A mis tutores Lucía Ramírez y José Álvarez por la guía y consejos brindados.

A Marcela Cadena por su amistad y apoyo brindado para concluir con este proyecto.

A mis compañeros y profesores de maestría por hacer de estos años de estudio una experiencia inolvidable.

RESUMEN

La frutilla es un fruto altamente perecedero por su alta tasa de respiración que conduce a cambios postcosecha con reducción de la calidad y susceptibilidad a infecciones fúngicas y bacterianas. La aplicación de recubrimientos comestibles en las frutillas (*Fragaria ananassa*) representa una técnica para extender la vida útil. En este estudio se evaluó el efecto de diferentes recubrimientos con base en pectina y aceite esencial de canela (AEC) reforzado con celulosa microcristalina (CM) para alargar la vida útil. Se planteó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4+1 correspondiente a la combinación de celulosa microcristalina (0, 5 y 7% p/p en referencia a la pectina), aceite esencial de canela (0, 0,1,0,2 y 0,3% v/v), y un control (frutillas sin recubrimiento). Las frutillas recubiertas fueron evaluadas durante 12 días de almacenamiento a 4°C en relación a parámetros fisicoquímicos y se seleccionaron los mejores tratamientos para el análisis microbiológico y evaluación sensorial.

La aplicación de 5% de CM al recubrimiento impidió sobrepasar el límite crítico de pérdida de peso. Adicionalmente, 0,2% de AEC frenó el rápido incremento del pH y ayudó a mantener el contenido de antocianinas. La combinación de 5% de CM con 0,1 o 0,2% de AEC retardó el incremento de sólidos solubles, previno la reducción acelerada de la acidez, al igual que, controló el aumento del índice de madurez.

La inclusión de 5% de CM y 0,1 o 0,2% de AEC logró alargar microbiológicamente la vida útil hasta 9 días, pero 0,2% de AEC afectó la firmeza. Las frutillas tratadas con recubrimiento (5%CM; 0,1%AEC) vs. el control no presentaron diferencias significativas en el color y firmeza, sin embargo, en el sabor, olor y aceptación general si difirieron significativamente, pero obtuvieron una calificación dentro de la zona positiva de la escala. Por lo tanto, la formulación del recubrimiento 5% de CM y 0,1%AEC logró alargar la vida útil de 5 a 9 días, a 4°C y mantuvo la calidad y características sensoriales dentro de parámetros aceptables para el consumo y comercialización.

Palabras clave: *Botrytis cinerea*, pH, grados Brix, antocianinas, análisis microbiológico, análisis sensorial.

ABSTRACT

Strawberry is a highly perishable fruit due to its high respiration rate leading to postharvest disease, quality decline and susceptibility to fungal and bacterial infections. The application of edible coatings on strawberries (*Fragaria ananassa*) is a technique to extend the shelf-life. This study aimed to evaluate the effects of different pectin-based edible coatings formulations with cinnamon essential oil (AEC) reinforced with microcrystalline cellulose (CM) to extend their shelf-life. A completely randomized design was used with a 3x4+1 factorial arrangement that corresponds to the combination of microcrystalline cellulose (0, 5 and 7% w/w about pectin), cinnamon essential oil (0, 0.1, 0.2 and 0.3% v/v), and a control treatment (uncoated strawberries). The coated strawberries were evaluated during 12 days of storage at 4°C considering physicochemical parameters, the best treatments were selected for the microbiological analysis and sensory evaluation.

The addition of 5% CM to the edible coating prevents weight loss beyond the critical limit. Additionally, 0.2% AEC slowed the increase in pH and helped to maintain the anthocyanin content. Combining 5% CM with 0.1 or 0.2% AEC delayed the increase of soluble solids, prevented the accelerated reduction of acidity and the maturity index was controlled.

The incorporation of 5% CM and 0.1 or 0.2% AEC helped to extend shelf life up to 9 days, but 0.2% AEC affected fruit firmness. The color and firmness of coated strawberries (5% CM; 0.1% AEC) did not differ significantly from the control, but taste, smell, and general acceptance were significantly different. Overall, coated strawberries scored in the positive zone of the scale. Therefore, the coating formulation with 5% CM and 0.1% AEC managed to extend the shelf-life from 5 to 9 days at 4°C maintaining the quality and sensory characteristics within acceptable parameters for consumption and commercialization.

Keywords: *Botrytis cinerea*, pH, Brix degrees, anthocyanins, microbiological analysis, sensory analysis.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	14
METODOLOGÍA	19
1. Materiales	19
2. Preparación del recubrimiento	19
3. Aplicación del recubrimiento	21
4. Ensayos preliminares	21
5. Diseño experimental	21
6. Ponderación y especificaciones de variables de respuesta	25
7. Análisis microbiológico	25
8. Evaluación sensorial	26
9. Análisis estadístico	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
1. Ensayos preliminares	28
2. Variables de respuesta (parámetros fisicoquímicos)	30
2.1 Pérdida de peso	30
2.2 pH	34
2.4 Acidez Titulable	47
2.5 Índice de madurez	55
2.6 Contenido de antocianinas	60
3. Ponderación de las variables de respuesta	67
4. Análisis microbiológico	68
5. Evaluación sensorial	73
CONCLUSIONES	77
ANEXOS	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores y niveles en estudio	22
Tabla 2. Especificaciones y ponderación de variables de respuesta.....	25
Tabla 3. Puntaje final tabla de ponderación	67
Tabla 4. Cambios visuales y crecimiento fúngico de las frutillas	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema escala de madurez frutilla	19
Figura 2. Preparación del recubrimiento	20
Figura 3. Imágenes micrografía electrónica de barrido de frutillas con y sin recubrimiento a diferentes tiempos de inmersión.	29
Figura 4. Pérdida de peso (%) de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.	30
Figura 5. Pérdida de peso de los tratamientos (%).	32
Figura 6. Pérdida de peso (%) de los tratamientos con y sin CM.	34
Figura 7. pH de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.	36
Figura 8. pH de los tratamientos.	38
Figura 9. pH de tratamientos con y sin CM, Día 3.	39
Figura 10. pH de los tratamientos con y sin CM, Día 9.	40
Figura 11. pH de los tratamientos con y sin AEC, Día 9.	40
Figura 12. pH de los tratamientos con y sin AEC, Día 12.	41
Figura 13. Influencia de la interacción de factores en el pH de los tratamientos, Día 12. ...	42
Figura 14. Sólidos solubles de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.	43
Figura 15. Contenido de sólidos solubles de los tratamientos.	46
Figura 16. Contenido de sólidos solubles de los tratamientos con y sin AEC.	47
Figura 17. Acidez titulable (% de ácido cítrico) de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.	49
Figura 18. Acidez titulable de los tratamientos	51
Figura 19. Acidez titulable (%) de los tratamientos con y sin CM, Día 9.	52
Figura 20. Acidez titulable (%) de los tratamientos con y sin AEC, Día 9.	54

Figura 21. Influencia de la interacción de factores en la acidez titulable (%) de los tratamientos, Día 9.....	54
Figura 22. Índice de madurez de los tratamientos durante los 12 días de almacenamiento, a 4°C.....	56
Figura 23. Índice de madurez de los tratamientos, Día 6.	58
Figura 24. Índice de madurez de los tratamientos con y sin CM.	59
Figura 25. Influencia de la interacción de factores en los tratamientos, Día 6.....	60
Figura 26. Contenido de antocianinas de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.	62
Figura 27. Contenido de antocianinas de los tratamientos.	64
Figura 28. Influencia de la interacción de factores en los tratamientos.	65
Figura 30. Contenido de antocianinas de los tratamientos con y sin AEC, Día 12.....	66
Figura 31. Distribución de la puntuación general de los tratamientos de recubrimiento obtenida en la tabla de ponderación.	67
Figura 32. Recuento de aerobios mesófilos en frutillas recubiertas con distintos tratamientos durante varios días de almacenamiento a 4°C.	69
Figura 33. Recuento de mohos y levaduras en frutillas recubiertas con distintos tratamientos durante varios días de almacenamiento a 4°C.	71
Figura 34. Nivel de agrado del olor, sabor y aceptación global de los tratamientos, por la prueba F ($p \leq 0,05$).	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tratamientos.....	79
Anexo 2. Cuestionario para prueba de nivel de agrado, escala hedónica de 5 puntos.....	80
Anexo 3. Consentimiento informado.....	81
Anexo 4. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de la pérdida de peso (%) de los tratamientos.....	81
Anexo 5. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del pH de los tratamientos.....	81
Anexo 6. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de grados brix de los tratamientos.....	82
Anexo 7. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de la acidez (% de ácido cítrico) de los tratamientos.....	82
Anexo 8. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del índice de madurez de los tratamientos.....	82
Anexo 9. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del contenido de antocianinas (mg de cianidina3-glucósido/100g) de los tratamientos.....	83
Anexo 10. Ponderación de los tratamientos.....	83
Anexo 11. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de color, olor, sabor, firmeza y aceptación global de los tratamientos T7(5%CM; 0,1%AEC) y T1(sin recubrimiento).....	84
Anexo 12. Nivel de agrado del color y firmeza de los tratamientos.....	84
Anexo 13. Nivel de agrado del olor, sabor y aceptación global de los tratamientos.....	84

INTRODUCCIÓN

La frutilla (*Fragaria ananassa*), que pertenece a la familia Rosaceae, es una fruta reconocida comercialmente que generalmente se consume fresca por sus atractivas características organolépticas y aporte de nutrientes, entre los que se destaca la vitamina C y E, antocianinas y ácidos fenólicos (I. da Silva et al., 2019). No obstante, su corta vida útil constituye un problema para los productores y consumidores al ser considerada una de las frutas con mayor predisposición al deterioro postcosecha por su corto período de maduración, alta tasa de respiración y actividad metabólica, ausencia de una barrera externa y una cutícula muy delgada que la hace sensible a la temperatura, humedad ambiental y lesiones mecánicas (Mohammadi et al., 2015; Panou et al., 2021; Tahir et al., 2018).

La producción de frutillas en Ecuador reportada para el año 2020 fue de 1444 toneladas (FAOSTAT, 2022). Estudios revelan que el 60% de la producción de la frutilla se consume como fruta fresca, con un porcentaje elevado de pérdida postcosecha atribuido a la reducción de la calidad y crecimiento de microorganismos (Pazmiño Quiroga, 2019). Las causas más comunes de deterioro de las frutillas son enfermedades fúngicas y bacterianas; se ha identificado especialmente al hongo *Botrytis cinerea* como el responsable (Gil-Giraldo et al., 2018; González et al., 2021). Además, son propensas a lesiones mecánicas y pérdida de agua por la ausencia de una capa protectora y piel delgada (Del Valle Soazo, 2012). Por lo tanto, es necesario aplicar técnicas de conservación postcosecha que mantengan la calidad fisicoquímica, organoléptica y microbiológica de esta fruta.

La vida útil de las frutillas se relaciona principalmente con el estado de madurez al momento de la cosecha y las condiciones postcosecha (Khan et al., 2019). Además, es necesario considerar que tras la cosecha se producen cambios fisiológicos relacionados con el estrés que generan la reducción de la calidad (Alcántara Gonzáles, 2009; Pott et al., 2020).

Se ha identificado que la vida útil de las frutillas frescas almacenadas a temperatura entre 0 y 4°C suele ser de alrededor de 5 días (Valenzuela et al., 2015), siendo necesario utilizar técnicas que permitan extender la vida útil y mantengan la calidad de las frutillas, tomando en cuenta aspectos como el color, sabor, textura, apariencia, valor nutricional y seguridad microbiológica (Guerreiro et al., 2015). Varias técnicas han sido desarrolladas dentro de las cuales se incluye el uso de atmósferas modificadas, irradiación y adición de conservantes químicos. No obstante, algunos de estos métodos requieren altos costos de inversión, de modo que, se ha optado por la aplicación de recubrimientos comestibles como una alternativa más económica y de fácil aplicación.

Los recubrimientos comestibles se han convertido en una tecnología de conservación para prolongar la vida postcosecha y mantener la calidad de las frutas (Yang et al., 2022). Específicamente, para el caso de las frutillas, la aplicación de recubrimientos comestibles es una alternativa al uso de agentes sintéticos que satisface las necesidades actuales de los consumidores que buscan alimentos seguros, frescos y mínimamente procesados que mantengan su calidad durante el almacenamiento (Mousavi et al., 2021; Shahbazi, 2018). Los recubrimientos forman una fina película protectora que actúa como barrera selectiva para la transferencia de gases y humedad, minimizan la tasa de respiración, retrasan el deterioro

de la calidad y controlan el crecimiento de microorganismos (I. da Silva et al., 2019). Además, se ha optado por la incorporación de ingredientes activos, dentro de los recubrimientos, como agentes antimicrobianos o de refuerzo para brindar una superficie de protección más eficiente (Molina-Hernández et al., 2020; Treviño-Garza et al., 2015).

Diferentes materiales han sido empleados para la elaboración de recubrimientos comestibles, entre estos la pectina, un componente soluble de la fibra vegetal de frutas y verduras que forma una matriz continua con buenas propiedades mecánicas y que ha sido aplicado en varias frutas. Tras aplicar un recubrimiento con pectina en el aguacate se observó un retraso en los cambios de la textura y color; en el mango, se logró mantener una calidad aceptable por más tiempo (Valdés et al., 2015); incluso ya existen estudios del uso de la pectina como material de recubrimiento en frutilla con que mostraron un detenimiento en los cambios de algunas características fisicoquímicas asociadas con el deterioro postcosecha (Cárdenas-Barboza et al., 2021; I. da Silva et al., 2019; Treviño-Garza et al., 2015). Pese a que el uso de la pectina en recubrimientos comestibles representa una opción viable porque forma una estructura homogénea y transparente, se ha identificado que tiene propiedades de barrera deficientes contra la humedad por sus características hidrofílicas (Abdi et al., 2017; Kong et al., 2022). Diferentes agentes de refuerzo como la celulosa microcristalina (CM) que actúan como relleno para los biopolímeros son opciones para mejorar las propiedades mecánicas del recubrimiento (Dao et al., 2022). La CM es una celulosa purificada, parcialmente despolimerizada, que se produce al tratar alfa celulosa con un ácido mineral. El ácido ataca las regiones menos ordenadas de la cadena del polímero de celulosa, expone y libera los sitios cristalinos y forma agregados que conforman la CM (Augello, 2005).

Adicionalmente, se ha identificado que no tiene efectos nocivos para la salud y ha sido utilizada como un aditivo altamente eficaz para mejorar las propiedades de productos en varios campos de aplicación como alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos (Othman et al., 2019).

Por otro lado, la incorporación de aceites esenciales a los recubrimientos comestibles es una opción utilizada como agentes conservantes naturales de alimentos, debido a que son compuestos bioactivos formados por metabolitos secundarios producidos por las plantas en respuesta a algún tipo de estrés (Guerreiro et al., 2015). Estudios han reportado que el 60% de los aceites esenciales tiene un efecto inhibitorio contra una gran gama de hongos que abre la posibilidad de ser utilizados para controlar pudriciones fúngicas en frutas, y permite preservar la calidad, reducir el deterioro microbiano y aumentar la vida útil; además, es considerado como una sustancia GRAS y presentan bajo costo de producción (da Silva et al., 2020; Guerreiro et al., 2015).

El aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) tiene propiedades antimicrobianas y antifúngicas contra un amplio espectro de microorganismos que causan deterioro en los alimentos, propiedades relacionadas con la presencia de compuestos como el eugenol y el aldehído cinámico que han sido considerados como preservantes naturales que sensibilizan la bicapa de fosfolípidos de la membrana celular bacteriana y provocan aumento de la permeabilidad y fuga de constituyentes intracelulares vitales (González et al., 2021; Šernaitė et al., 2020; Siripatrawan, 2016). Sin embargo, la incorporación de aceites esenciales a recubrimientos comestibles puede afectar las características organolépticas

reduciendo la aceptabilidad del consumidor por lo que es importante encontrar la concentración adecuada de aceite esencial para alargar la vida útil sin afectar su calidad sensorial.

Objetivo general:

Evaluar el efecto de diferentes formulaciones de recubrimientos comestibles con base en pectina y aceite esencial de canela reforzado con celulosa microcristalina sobre la calidad y prolongación de la vida útil de frutillas (*Fragaria ananassa*).

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto del recubrimiento comestible sobre parámetros físicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de frutillas.
- Establecer la concentración más efectiva de celulosa microcristalina y aceite esencial de canela en el recubrimiento comestible para aumentar la vida útil de la frutilla.
- Evaluar la influencia del recubrimiento en las características organolépticas de la frutilla mediante pruebas de aceptabilidad.

METODOLOGÍA

1. Materiales

Las frutillas fueron adquiridas de un productor local de la ciudad de Quito, seleccionadas, almacenadas en refrigeración. Para la selección, se consideró un estado de madurez entre 3 y 4, en que han alcanzado la madurez comercial, de acuerdo con la escala que se muestra en la Figura 1 (Flórez-Faura & Mora-Cabeza, 2010; Khan et al., 2019). Adicionalmente, se consideró la uniformidad de tamaño, color (>50% de la superficie de color rojo) y ausencia de defectos mecánicos o deterioro fúngico. Antes de la aplicación del recubrimiento las frutillas fueron lavadas con agua potable para retirar la suciedad superficial; para la desinfección, se sumergieron en una solución al 1% de hipoclorito de sodio por 2 minutos, se escurrieron y se enjuagaron hasta obtener una concentración de cloro residual menor a 1mg/L para lo cual se usó el método colorimétrico con ortotolidina y luego se secaron al ambiente (ACSA, 2018; Dong & Wang, 2017).

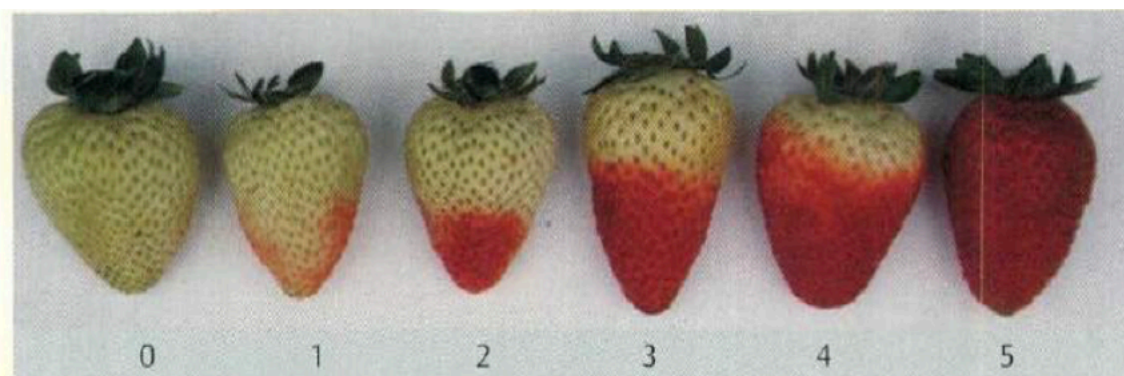


Figura 1. Esquema escala de madurez frutilla (Flórez-Faura & Mora-Cabeza, 2010)

2. Preparación del recubrimiento

Como se observa en la Figura 2, el proceso inició con la disolución de la pectina en agua destilada a 70°C y agitación durante 30 minutos. Para incrementar la elasticidad se adicionó glicerol al 0,3% p/p en relación a la pectina, y se agitó durante 1 hora (Abdi et al.,

2017b; Cardenas-Barboza et al., 2021). Posteriormente, la celulosa microcristalina se incorporó a la mezcla anterior y se agitó a 750 rpm durante 20 minutos hasta obtener una mezcla homogénea (Adjouman et al., 2018). A los recubrimientos con aceite esencial, se agregó tween 80 como emulsionante (0,2% v/v, con respecto al volumen de aceite esencial) y se homogenizó. Cuando la mezcla alcanzó entre 25-30°C, se adicionó el aceite esencial de canela, y se agitó a 700 rpm hasta obtener homogeneidad de la dispersión (Martínez et al., 2018).

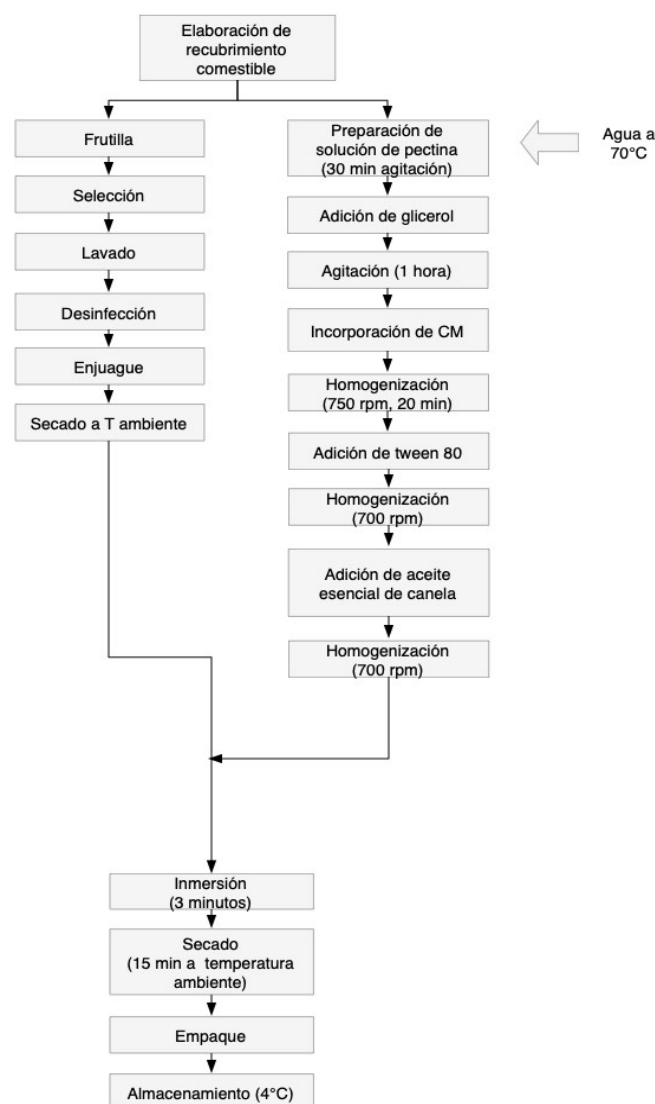


Figura 2. *Proceso de preparación y aplicación del recubrimiento*

3. Aplicación del recubrimiento

De acuerdo a los tratamientos estudiados (Anexo 1), las frutillas fueron sumergidas en la solución del recubrimiento correspondiente, después se colocaron en una malla plástica para remover el exceso del recubrimiento, y permanecieron entre 20-30 minutos al ambiente hasta que el recubrimiento fue adherido (Shahbazi, 2018). Las frutillas recubiertas se empacaron en cajas de polietileno biorientado con perforaciones, y se almacenaron a 4°C.

4. Ensayos preliminares

Con la finalidad de evaluar la adherencia y apariencia (uniformidad, color y brillo) del recubrimiento en las frutillas, se evaluaron dos concentraciones de celulosa microcristalina (0%, 5%) y diferentes tiempos de inmersión (1,2 y 3 minutos).

Se analizó el recubrimiento utilizando un microscopio electrónico de barrido. Para lo cual se realizaron cortes en la epidermis de las frutillas de 1cm de largo x 2mm de ancho y se liofilizaron (Liofilizador BIOBASE BK-FD10 -73°C, presión < 10 Pa, 50 horas) para eliminar la humedad y mejorar la conductividad (Rosas-Saito, 2021). Todas las muestras fueron examinadas con aumentos de 200, 500 y 1000X (Pérez-Velastegui & Zurita-Tinizaray, 2019; Pieniazek & Messina, 2018).

5. Diseño experimental

Para evaluar el efecto de la incorporación de CM y AEC al recubrimiento comestible en la vida útil de frutillas almacenadas a 4 °C, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4+1 correspondiente a la combinación de dos factores con tres y cuatro niveles respectivamente (Tabla 1), que generó un total de 12 tratamientos experimentales y

un tratamiento control (Anexo 1). Se realizaron dos repeticiones y se obtuvieron 26 unidades experimentales.

En todos los tratamientos experimentales la concentración de pectina (1%p/v) y glicerol (0,3% p/p en referencia a la pectina) fue constante. Todas las muestras fueron almacenadas a 4°C y analizadas los días 1, 3, 6, 9 y 12.

Tabla 1. Concentraciones de celulosa microcristalina y aceite esencial de canela en estudio

FACTORES	NIVELES
A: Concentración de celulosa microcristalina (% p/p en referencia a la pectina)	0%
	5%
	7%
B: Concentración del aceite esencial de canela (% v/v)	0%
	0.1%
	0.2%
	0.3%

5.1 Variables de respuesta (parámetros fisicoquímicos)

Luego de aplicar el recubrimiento a las frutillas, los frutos fueron empacados en cajas plásticas que permanecieron almacenadas a 4°C y se tomaron muestras en los intervalos de tiempo determinados (días 1,3,6,9 y 12).

Pérdida de peso: Se determinó durante el almacenamiento, de acuerdo con el método gravimétrico, y consistió en comparar el peso inicial (día 1) de las frutillas de cada tratamiento con el peso de los días de análisis (3,6,9 y 12). El porcentaje de pérdida de peso fue calculado a través de la ecuación 1 (Cortés Rodríguez et al., 2020).

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

(Ecuación 1)

pH: se siguió la metodología descrita por la norma INEN 1842, para lo cual se preparó una solución acuosa al 10%p/v de frutillas trituradas (INEN, 2013b).

Sólidos solubles (°Brix): De tres a cuatro fresas de cada tratamiento fueron trituradas y filtradas, y se colocó una gota de jugo en el lente del refractómetro para determinar el índice de refracción (Dong & Wang, 2017; Siburian et al., 2021b).

Acidez titulable: El nivel de acidez fue establecido mediante titulación y expresado como porcentaje de ácido cítrico, según el método AOAC 942.15 (AOAC, 2000). Brevemente, 5ml de jugo filtrado de frutilla se mezclaron con 100mL de agua destilada. Se tomó 10mL de muestra y se añadió fenolftaleína (0,1% p/v) como indicador, la solución fue valorada con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N, hasta la aparición de un color púrpura/rosado claro. El volumen de NaOH gastado en la titulación fue utilizado para cuantificar el contenido de ácido cítrico, según la ecuación 2 (Siburian et al., 2021b).

$$Acidez\ titulable = \frac{V \times N \times 0.064 \times factor\ dilución}{alícuota\ (mL)} \times 100$$

(Ecuación 2)

En donde, V (mL) es el volumen de NaOH utilizado para la titulación, y N es la normalidad del agente titulante.

Índice de madurez: Fue calculado como el cociente de los sólidos solubles y la acidez titulable (Agapito-Ocampo et al., 2021).

Extracción y determinación del contenido de antocianinas: Para la extracción, de antocianinas se utilizó un solvente que contenía 85% de agua destilada y 15% de HCl 0.1M. (pH=1.3), en 40mL de solvente se adicionó 2g de frutilla. La solución se agitó a diferentes velocidades (400 y 800rpm) durante un tiempo de extracción de 1 y 15 minutos, respectivamente. Las muestras se centrifugaron a 20 000 rpm (Benchikh et al., 2021).

La determinación del contenido de antocianinas siguió la metodología del pH diferencial. 1.5mL del extracto fueron adicionados a 2.5mL de cloruro de potasio, pH 1 (0,025 M) y 2.5mL de acetato de sodio pH 4.5 (0,4 M). Se incubaron las mezclas en la oscuridad durante 30 minutos y se midió la absorbancia a 510 y 700nm en el espectrofotómetro (Hanon) (Barragán Condori et al., 2018). El contenido de antocianinas se expresó como mg de cianidina 3-glucósido, utilizando la ecuación 3.

$$C_A = A_m \times PM \times FD \times 1000 / \epsilon \times l \times p$$

$$A_m = (A_{510} - A_{700})_{pH1} - (A_{510} - A_{700})_{pH4.5}$$

(Ecuación 3)

En donde,

C_A = concentración de antocianinas en (mg C3GE/100g)

A_{510} y A_{700} = absorbancias a 510 y 700 nm, respectivamente a pH 1 y pH 4,5

PM= peso molecular de cianidina 3-glucósido (449g/mol)

FD=factor de dilución equivalente

ϵ = coeficiente de extinción molar de cianidina 3-glucósido (26 900 M⁻¹ cm⁻¹)

l = longitud de paso de la celda en cm (1 cm)

6. Ponderación y especificaciones de variables de respuesta

Para definir los mejores tratamientos en el estudio, las variables de respuesta fueron los criterios de calificación, con base en especificaciones que determinan la calidad adecuada de las frutillas para su comercialización y consumo (Tabla 2). Se estableció un puntaje para cada variable y se asignó la puntuación si el resultado de cada día de análisis entró dentro de la especificación, los tratamientos que cumplieron con los límites establecidos durante más días obtuvieron una calificación más alta.

Tabla 2. Especificaciones y ponderación de variables de respuesta

Orden de importancia	Variable de respuesta	Nivel mínimo	Nivel máximo	Puntuación asignada	Referencia
1	Índice de madurez (°Brix / % ácido cítrico)	7,4	8,9	6	(ICONTEC, 2018)
2	pH	3,6	4,1	5	(Akhtar & Rab, 2015)
3	Pérdida de peso (%)	---	6	4	(Barrazueta-Rojas et al., 2018)
4	Acidez titulable (% de ácido cítrico)	0,82	0,90	3	(ICONTEC, 2018)
5	Grados Brix	7,4	8,5	2	(ICONTEC, 2018)
6	Contenido de antocianinas (mg de cianidina3-glucósido/100g)	30,4	49	1	(Carvajal de Pabón et al., 2012)

7. Análisis microbiológico

El análisis se realizó por duplicado en los días:1,6,9 y 12 a los tratamientos que obtuvieron los puntajes más altos en la ponderación y tratamientos control; estos fueron

T1(sin recubrimiento), T2(0%CM; 0%AEC), T6(5%CM;0%AEC), T7(5%CM;0,1%AEC), 8(5%CM; 0,2%AEC) y T10(7%CM;0%AEC). El recuento de aerobios mesófilos totales, mohos y levaduras siguió la metodología indicada por Martínez et al. (2018) y consistió en tomar 10g de frutilla que se homogenizaron en condiciones asépticas con 90mL de agua peptonada. El homogenizado se diluyó en serie de 10^{-1} a 10^{-7} , y luego, 0,1 mL de cada solución fue inoculada en placas con agar sabouraud para recuento de mohos y levaduras, y agar nutritivo (AN) para recuento de aerobios mesófilos con la técnica de extensión en placa (INEN, 2013a). Las placas para recuento de aerobios mesófilos fueron incubadas a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 48 horas y se expresó como unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g). Mientras que las placas de mohos y levaduras se incubaron a una temperatura entre 23°C por 5 días y se reportó como UFC/g (INEN, 2008; Martínez et al., 2018; Rahimi et al., 2019).

8. Evaluación sensorial

Con base en el análisis microbiológico, cambios en la apariencia, tiempo máximo de almacenamiento de acuerdo con el límite máximo permisible de microorganismos, se seleccionó al tratamiento T7(5%CM; 0,1%AEC) tras 9 días de almacenamientos y se incluyó al T1(sin recubrimiento) para comparar con una muestra fresca con las características óptimas a las que se desea mantener la frutilla con recubrimiento en la evaluación sensorial. Esta se desarrolló en el laboratorio de evaluación sensorial de la Universidad San Francisco de Quito, y se aplicó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA). Participaron 68 jueces no entrenados, 40 mujeres (59%) y 28 hombres (41%), con edades comprendidas entre 17 y 37 años. Se solicitó determinar el nivel de agrado en una escala hedónica de 5 puntos, siendo 1:muy desagradable, 2:desagradable, 3:ni me gusta ni me disgusta, 4: agradable y

5:muy agradable. Los atributos que se evaluaron fueron: sabor, olor, color, textura y aceptabilidad en general (Anexo 2).

Previo al inicio de la evaluación sensorial, se proporcionó a los jueces una explicación de la evaluación y los participantes firmaron el consentimiento informado (Anexo 3). Cada juez recibió dos muestras de frutilla enteras sin el cáliz a temperatura ambiente (Han et al., 2005; Shamaila et al., 1992), colocadas en dos pozuelos plásticos de polipropileno en una bandeja de poliestireno y codificadas con números aleatorios: frutillas sin recubrimiento (424) y frutillas recubiertas tras 9 días de almacenamiento (151). Adicionalmente, se proporcionó un vaso con agua y galletas para limpiar el paladar entre muestras.

9. Análisis estadístico

El software Infostat fue utilizado para analizar los datos mediante análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de comparación de medias (Tukey), con un nivel de confianza de 95% ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Ensayos preliminares

Con la finalidad de evaluar la adhesión y apariencia del recubrimiento comestible, se recubrieron frutillas con dos concentraciones de celulosa microcristalina (0% y 5%) y se probaron diferentes tiempos de inmersión (1min, 2min y 3min); adicionalmente, se incluyó muestras de frutillas sin recubrimiento. La Figura 3 muestra la microestructura superficial de las frutillas con los recubrimientos comestibles. Con la resolución x1000 fue posible visualizar diferencias claras entre las muestras; las frutillas sin recubrimiento mostraron una superficie irregular en comparación con las muestras que contenían pectina y CM, en las que el recubrimiento se integró correctamente a la frutilla que presentó una superficie lisa y uniforme. Se observó que el tiempo de inmersión también influyó en la estructura, y tres minutos fueron favorables para formar una capa definida en la epidermis irregular de la frutilla.

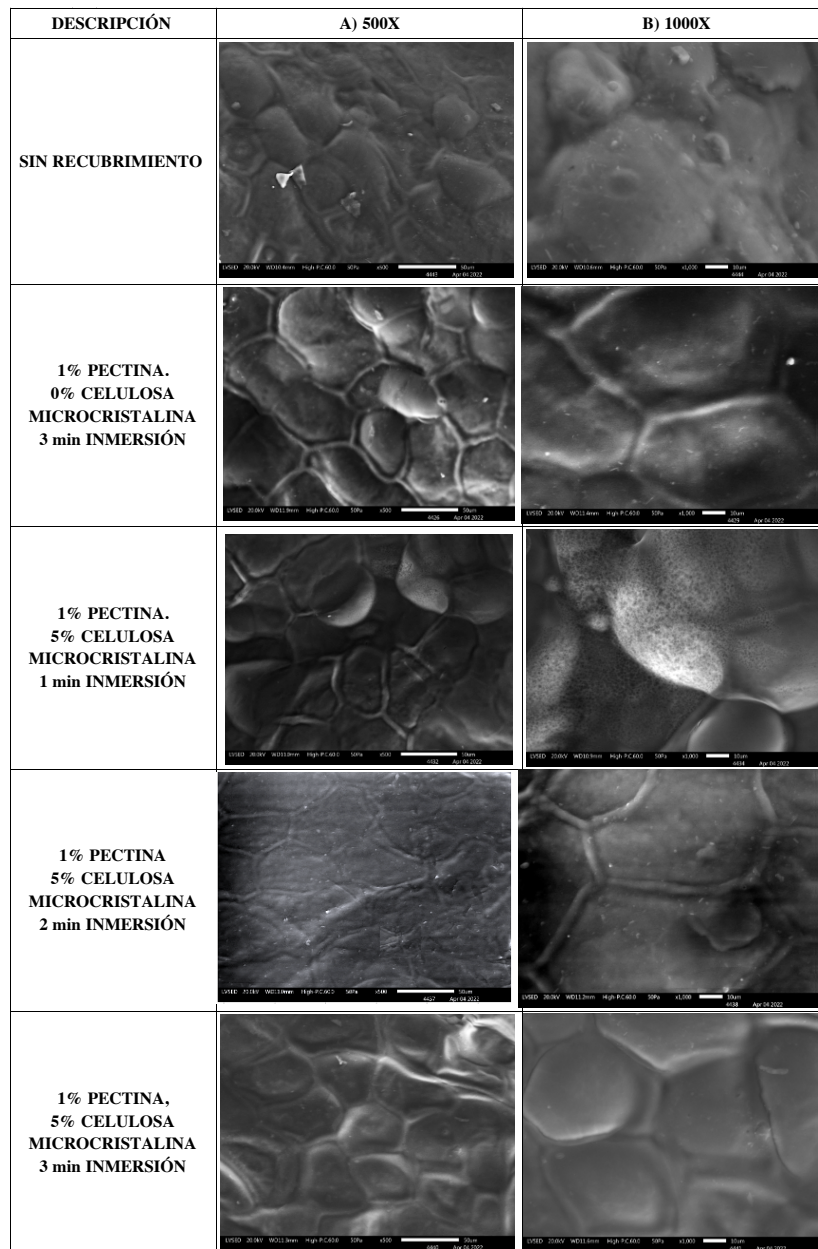


Figura 3. *Micrografías electrónicas de barrido de fresas con y sin recubrimiento a diferentes tiempos de inmersión. Las barras de calibración corresponden A)50 μ m y B)10 μ m*

2. Variables de respuesta (parámetros fisicoquímicos)

2.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso es un parámetro importante relacionado con la pérdida de agua y el deterioro de la calidad de la fruta que afecta principalmente a la apariencia, firmeza y jugosidad (Beltrán Alban, 2010). En la Figura 4 se evidencia un incremento gradual en la pérdida de peso de las frutillas durante el almacenamiento a 4°C en todos los tratamientos, relacionado con la fina cutícula que les recubre y la alta tasa de respiración que les hace propensas a la evaporación del agua y pérdida de peso (García Figueroa et al., 2019; Petriccione et al., 2015). La pérdida de agua se produce por la diferencia de presión de vapor entre la atmósfera y el producto, además que la piel delgada de la frutilla brinda poca protección al movimiento de vapor de agua y por lo tanto pierde fácilmente humedad (Bugawisan, 2021).

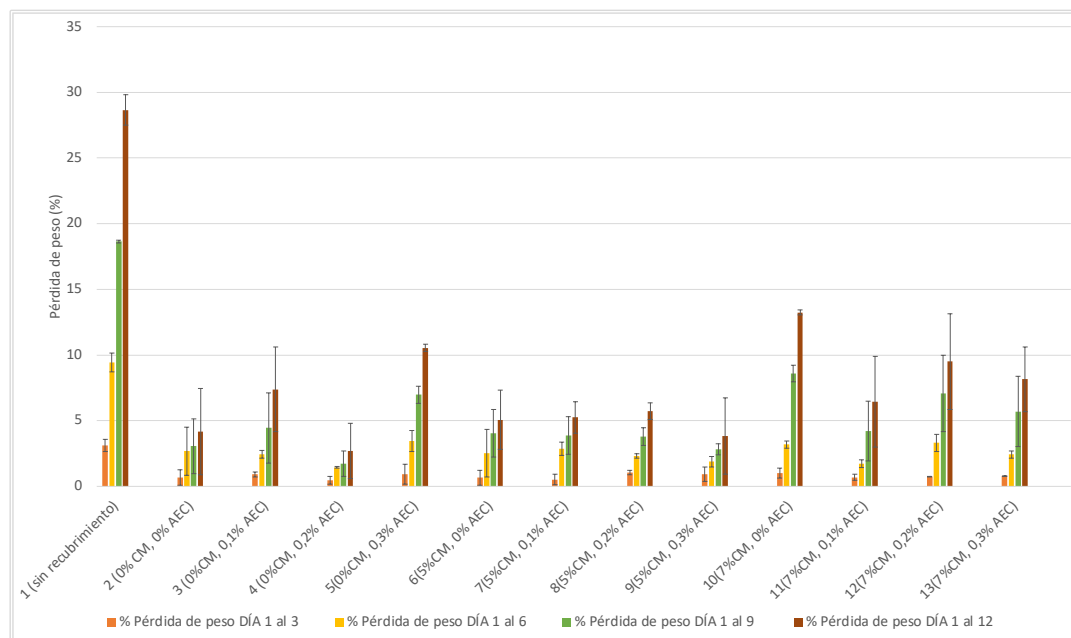


Figura 4. Pérdida de peso (%) de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.

El análisis de varianza (Anexo 4) mostró que existió diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos experimentales y el control (frutillas sin recubrimiento). En todos los días de análisis (Figura 5), los tratamientos con recubrimiento presentaron un porcentaje de pérdida de peso significativamente menor con respecto a las frutillas sin recubrimiento (T1), lo que demuestra que las distintas formulaciones del recubrimiento fueron efectivas para prevenir la pérdida de peso hasta los 12 días de almacenamiento. El recubrimiento proporcionó una barrera efectiva ante la pérdida de humedad al formar una capa protectora en la superficie de la frutilla que condujo a la disminución de la transpiración y tasa metabólica y provocó, a su vez, la reducción de la pérdida de peso (Siburian et al., 2021). Similares hallazgos fueron reportados por Salama et al. (2021) en recubrimientos con CM aplicados en pimientos verdes, las muestras sin recubrimiento fueron las que mayor pérdida de peso presentaron al día 13 (45%), en comparación con las muestras que en el recubrimiento contenían CM cuya pérdida de peso disminuyó significativamente a solo el 6%.

Al día 3, pese a que hubo diferencia significativa entre el T1(sin recubrimiento) y el resto de los tratamientos, todos cumplieron con la especificación de pérdida de peso que establece un límite máximo de 6%. Al día 6, el T1 (sin recubrimiento) fue el único que sobrepasó la especificación, en comparación a los tratamientos experimentales que se mantuvieron por debajo del límite, justificando, bajo este criterio, la aplicación del recubrimiento en la frutilla. Al día 9, ya algunos tratamientos experimentales sobrepasaron el límite sugerido (T5, T10 Y T12) mientras que los tratamientos con menor pérdida de peso (rango D) (Figura 5C), mostraron que estas formulaciones del recubrimiento fueron más efectivas para reducir la pérdida de peso. Finalmente, al día 12 únicamente los tratamientos

T2, T4, T6, T7, T8 Y T9 cumplieron con la especificación, la mayoría de los tratamientos que logró disminuir la pérdida de peso comparte la presencia de 5% de CM que reforzó el recubrimiento.

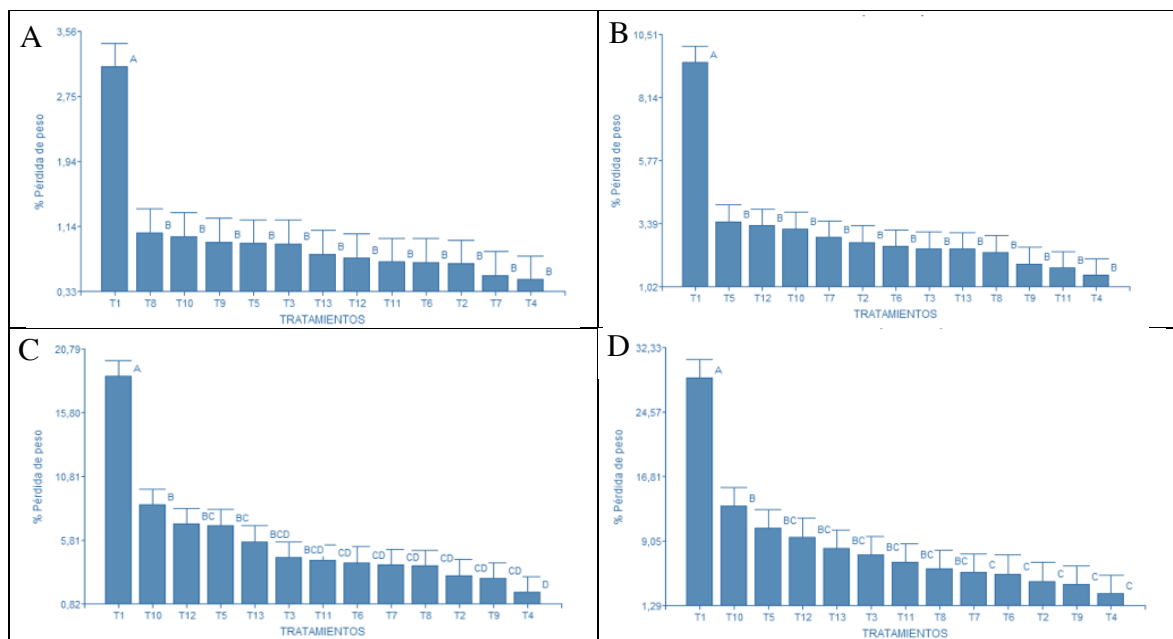


Figura 5. Pérdida de peso de los tratamientos (%).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

A) Día 3, B) Día 6, C) Día 9, D) Día 12.

En los días 9 y 12, el factor concentración de CM influyó significativamente en la pérdida de peso (Anexo 4). Como se observa en la Figura 6, los tratamientos con 5% de CM presentaron una pérdida de peso significativamente menor que los tratamientos con 7% de CM, tanto al día 9 como al 12 de almacenamiento, con valores de $(3,64 \pm 0,56)\%$ y $(4,98 \pm 0,81)\%$, respectivamente, que estuvieron por debajo de la especificación (máximo de 6%). Sin embargo, la pérdida de peso de los tratamientos con 5% de CM no difirió significativamente de los tratamientos sin CM (4,06% al día 9 y 6,21% al día 12), pero se evidenció que al día 12, en las frutillas sin CM, la pérdida de peso fue superior al límite de la especificación (6%). La pérdida de peso superior al 6% es suficiente para afectar la

aparición de la frutilla, provocar alteraciones nocivas en la firmeza, sabor, disminución del brillo y decoloración (Beltrán Alban, 2010; Petriccione et al., 2015).

Por otro lado, la incorporación de 7% de CM causó que la pérdida de peso al día 9 (4,68%), sea significativamente mayor que lo observado en los tratamientos con 0 y 5% de CM. Othman et al. (2019) observaron que la permeabilidad al vapor de agua del recubrimiento se redujo a una baja concentración de relleno (3% de celulosa microcristalina) pero aumentó con una alta concentración (10% de celulosa microcristalina). La celulosa microcristalina actúa en la matriz del recubrimiento como un relleno, cuando se añade a baja concentración se dispersa bien en la matriz de la película y reduce la permeabilidad al vapor de agua, pero una alta concentración genera la formación de aglomeraciones que favorecen la permeabilidad al agua y a la pérdida de peso (Othman et al., 2019). Al día 12 no hubo diferencias significativas entre la pérdida de peso de los tratamientos sin celulosa microcristalina y los que contenían 7% y 5%, es decir, la incorporación de CM al día 12 no tuvo efecto.

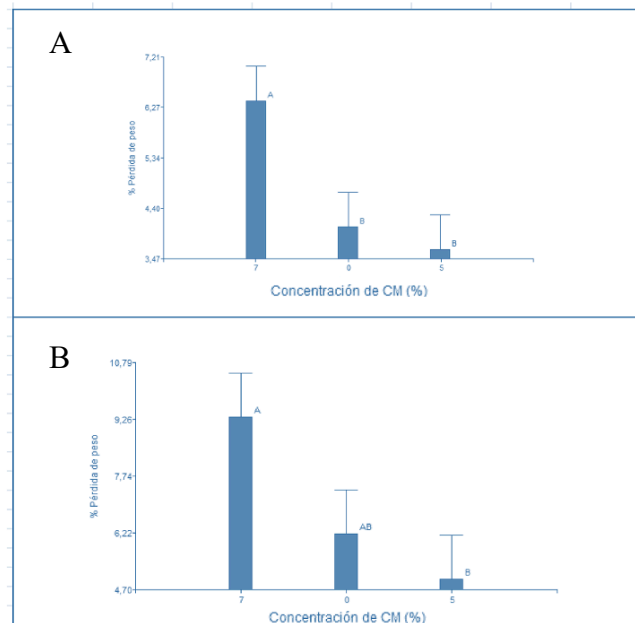


Figura 6. Pérdida de peso (%) de los tratamientos con y sin CM. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.
A) Día 9, B) Día 12.

De acuerdo con la influencia de los factores y la especificación, los tratamientos con 5% de CM fueron efectivos para prevenir el incremento de pérdida de peso manteniéndose hasta el día 12 por debajo del límite crítico de este parámetro.

2.2 pH

El pH de la frutilla se correlaciona con los ácidos orgánicos existentes en el fruto. Conforme la fruta continúa con el proceso metabólico regulado por acción de fitohormonas y cambios en la expresión de genes, se produce una disminución de la acidez que aumenta el pH (Perkins-Veazie, 2010). Cuando las frutillas no están maduras el pH es ácido, porque los ácidos orgánicos contenidos en el interior todavía están en buenas condiciones, pero tras ser cosechadas, hay un incremento en el pH relacionado con el uso de estos ácidos como sustrato de respiración (Defy-Janurianti et al., 2021; Suriati et al., 2021).

En la Figura 7 se observan los cambios en el pH de las frutillas recubiertas con los distintos tratamientos aplicados durante el almacenamiento. El rango de pH durante todo el periodo de ensayo se mantuvo dentro del reportado en otros estudios (entre 3 y 3,9), dependiendo de la variedad de la fruta, el nivel de maduración, las condiciones de almacenamiento y la contaminación microbiana (Khodaei et al., 2021). Conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, hubo un incremento en el pH como consecuencia de procesos fisiológicos de la fruta que termina en la reducción del nivel de ácido (Khodaei et al., 2021); sin embargo, en ciertos tratamientos, a partir sexto día y en otros a partir del noveno día, se visualizó un descenso del pH. Este comportamiento se puede relacionar con la pérdida de la capacidad protectora del recubrimiento ante la principal causa de deterioro de la frutilla que es el hongo *Botrytis cinerea*. Uno de los efectos del crecimiento del hongo en la frutilla es el incremento de la acidez que lleva a un descenso en el pH, la *Botrytis cinerea* comienza la fase de infección con la producción de ácido oxálico para estimular la actividad de varias enzimas necesarias para colonizar los tejidos del fruto (Moreno Quintanilla et al., 2020). En algunos tratamientos, como las frutillas sin recubrimiento y las frutillas recubiertas solo con pectina, la fase de infección del hongo comenzó en una etapa más temprana que en otros tratamientos que contenían CM o AEC que retardaron el inicio del proceso de deterioro (Figura 7).

El efecto deseado con la aplicación del recubrimiento comestible es mantener el pH sin grandes variaciones, específicamente evitar la reducción del nivel de acidez caracterizado por un incremento en el pH para prevenir el ataque de microorganismos y la actividad de enzimas pectinolíticas que afectan a la firmeza del fruto (Fernandes Pinheiro et al., 2021; Khodaei et al., 2021). De acuerdo con la especificación, el pH de las frutillas debe estar entre 3,6 a 4,1; los tratamientos que mantuvieron el pH dentro del rango por más tiempo fueron el

T3, T5 y T7, dos de estos con 0,1% de AEC, que pudo haber contribuido a mantener el pH sin mayor variación, debido a que el recubrimiento forma una capa protectora que reduce la tasa de respiración y frena la actividad de bacterias y hongos (Barrazueta-Rojas et al., 2018). Otro detalle relevante de la Figura 7, es que, en las frutillas sin recubrimiento (Tratamiento 1), ocurrió un rápido incremento que alcanzó el punto máximo de pH al día 6, mientras que en el resto de los tratamientos sucedió al noveno o doceavo día. Barrazueta-Rojas et al. (2018) también reportaron pH más alto en frutillas sin recubrimiento en una etapa temprana de almacenamiento.

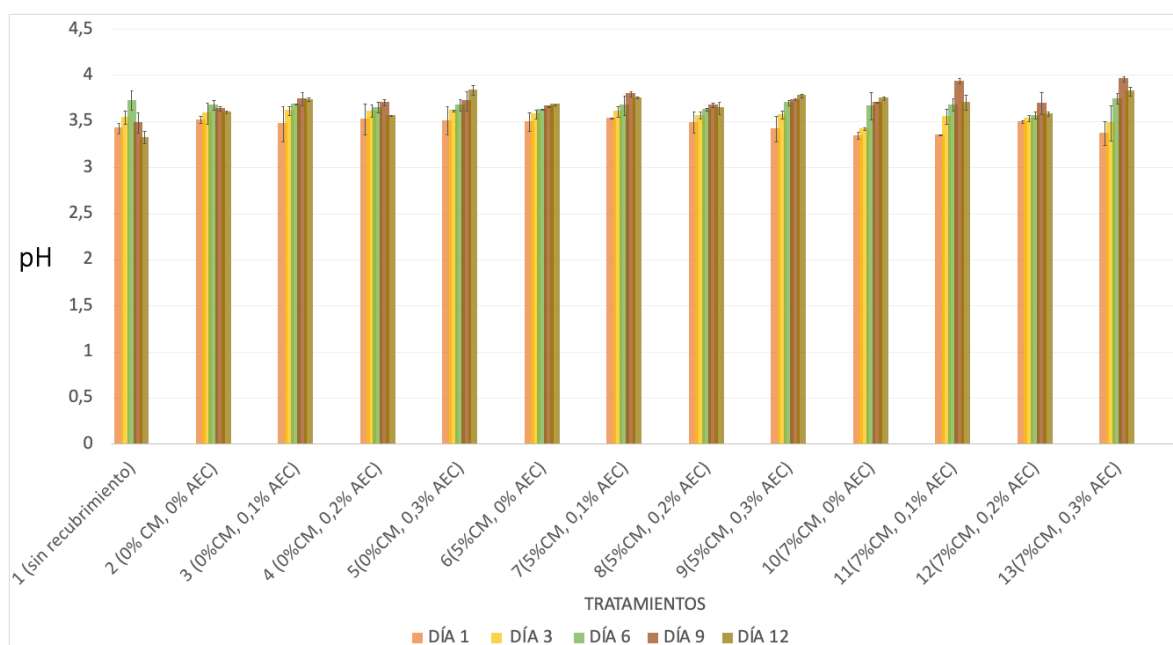


Figura 7. pH de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4 °C.

En los días de análisis 1,3 y 6 no se identificaron diferencias significativas en el pH de los tratamientos experimentales y el tratamiento control, con un nivel de confianza del 95% ($p > 0,05$) (Anexo 5). Por el contrario, en los días 9 y 12, si existió diferencia significativa. Al día 9 todos los tratamientos, a excepción del control (T1), cumplieron con la especificación de pH, y el pH del tratamiento 1 (sin recubrimiento) fue significativamente

menor ($p \leq 0,05$) que el pH de los tratamientos: 13 (7%CM; 0,3%AEC), 11(7%CM;0,1%AEC), 7(5%CM; 0,1%AEC), 3(0%CM; 0,1%AEC), 9(5%CM, 0,3%AEC) y 5(0%CM; 0,3% AEC) (Figura 7A). Por lo tanto, las formulaciones del recubrimiento que alcanzaron un pH más alto continuaron con los cambios metabólicos en que los ácidos orgánicos son metabolizados para la respiración y el pH se incrementa (Famiani et al., 2015). Por otro lado, el tratamiento 1 con pH bajo (más ácido) reflejó el inicio de la senescencia que desencadena el deterioro de los alimentos, dando lugar a que bacterias y hongos utilicen como fuente de energía azúcares y compuestos fenólicos y se generen ácidos orgánicos con la consecuente reducción del pH (Barraza-Rojas et al., 2018). Pese a que todos los tratamientos experimentales, a excepción del T1, cumplieron con la especificación, los tratamientos T2, T6 Y T10 presentaron un descenso en el pH a partir del día 6 (Figura 7), al igual, que las frutillas sin recubrimiento (T1) que se relaciona con el inicio del deterioro. Los tratamientos T2, T6 y T10 coinciden con la ausencia de AEC en sus formulaciones lo que explica el inicio anticipado de signos de deterioro por la falta de agentes activos que tengan efecto antifúngico.

Al día 12 los tratamientos T5(0%CM;0,3%AEC) y T13(7%CM;0,3%AEC) tuvieron un pH significativamente mayor que los tratamientos T8(5%CM;0,2%AEC), T6(5%CM;0%AEC), T2(0%CM;0%AEC), T12(7%CM;0,2%AEC), T4(0%CM;0,2%AEC) y T1(sin recubrimiento). Los tratamientos 5 y 13 incluyeron 0,3% de AEC, lo que sugiere que dicha concentración no fue eficaz para retrasar los cambios postcosecha y evitar el incremento en el pH. Según Antunes et al. (2012) una alta concentración de AEC puede reducir la calidad fisicoquímica. Mientras que el pH de los tratamientos 1, 4 y 12 estuvo por debajo de la especificación. En el resto de los tratamientos a pesar de que el pH estuvo dentro

de la especificación tuvieron una reducción como consecuencia del crecimiento de hongos en la frutilla que resultó en el incremento de la acidez y descenso del pH (Figura 7).

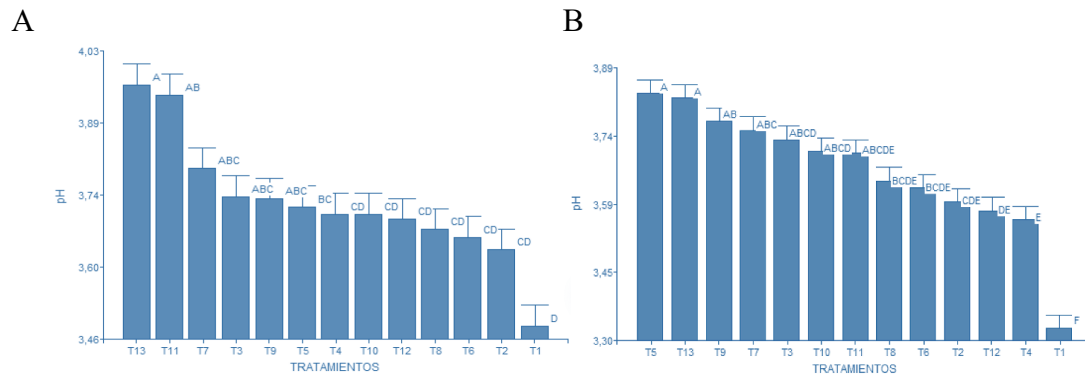


Figura 8. pH de los tratamientos.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

A) Día 9, B) Día 12.

Al día 3 la concentración de CM tuvo un efecto significativo en el pH (Anexo 5). A pesar de que los tratamientos con 5% o 7% de CM no difirieron significativamente entre ellos, los tratamientos con 7% de CM tuvieron un pH significativamente menor ($p \leq 0,05$) en comparación a las frutillas que no contenían CM en el recubrimiento, y demuestra que la aplicación del recubrimiento con 7% de CM retrasó el incremento del pH y mantuvo la acidez de la fruta, lo cual contribuye con la conservación de la calidad de la frutilla (Figura 9). Los tratamientos sin CM al día 3 ya cumplieron con la especificación, es decir, estaban listos para la comercialización y consumo, mientras que los tratamientos con 5% y 7% de CM tuvieron un pH por debajo de la especificación que indica que aún requerían más tiempo para llegar a las condiciones ideales, o sea, se logró retrasar los cambios relacionados con este parámetro.

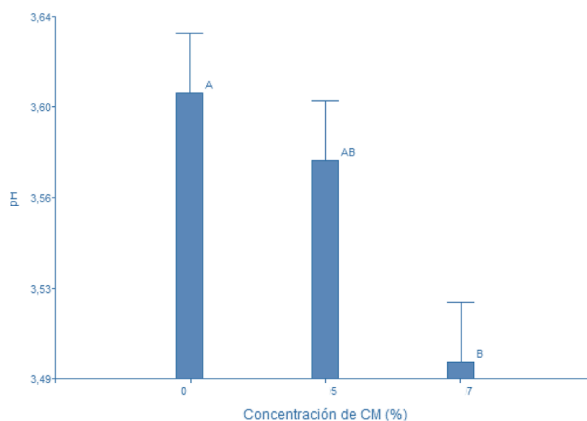


Figura 9. pH de tratamientos con y sin CM, Día 3.

**Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.*

Al día 9 tanto la concentración de CM como la concentración de AEC tuvieron un efecto significativo en el pH (Anexo 5). Los tratamientos con 7% de CM presentaron un pH significativamente mayor que el pH de los tratamientos con 5% y 0% de CM o sea 7% de CM ya no fue efectivo para controlar el incremento en el pH (Figura 10). Los tratamientos con 5% no difirieron significativamente de los tratamientos sin CM, por lo tanto, la incorporación de 5% de CM en el recubrimiento comestible no condujo a una mejora significativa en la matriz del recubrimiento para evitar un incremento en el pH como consecuencia del consumo de ácidos orgánicos. Una concentración adecuada de CM es importante para no afectar las propiedades de barrera (Foong et al., 2021), como se demostró en los tratamientos con 7% en que en lugar de retrasar los cambios fisiológicos hubo una aceleración en el incremento del pH.

Al día 9 todos los tratamientos independientemente de la concentración de AEC o de CM estuvieron dentro de la especificación de pH (Figura 10 y 11). Sin embargo, el pH de los tratamientos sin aceite de canela (0% AEC) y al 0,2% fue menor ($p \leq 0,05$), que el pH de los

tratamientos con concentraciones de 0,1% y 0,3% (Figura 11). La adición de 0,2% de AEC retrasó el incremento del pH, similar al efecto reportado por Chu et al. (2020) en que los recubrimientos de pululano y aceite esencial de canela mostraron un impacto efectivo en la ralentización del metabolismo y la actividad respiratoria que fue explicado por las interacciones entre los compuestos del aceite esencial y la membrana celular de las frutillas. Conforme transcurre el tiempo de almacenamiento la acidez disminuye y aumenta el pH, lo cual produce cambios en las características organolépticas y hace que las frutillas sean propensas al crecimiento de agentes microbianos (González et al., 2021). El incremento en el pH favorece a la actividad de las enzimas pectinolíticas responsables de la degradación de la pared celular y la fruta es susceptible a la contaminación microbiológica (Chun&Huber, 1998). Por otro lado, el pH bajo de los tratamientos sin AEC está asociado con el proceso de deterioro microbiológico de la frutilla como consecuencia del ataque de la *Botrytis cinerea* que resulta en la producción de ácido oxálico para estimular la actividad de varias enzimas necesarias para colonizar los tejidos del fruto (Moreno Quintanilla et al., 2020).

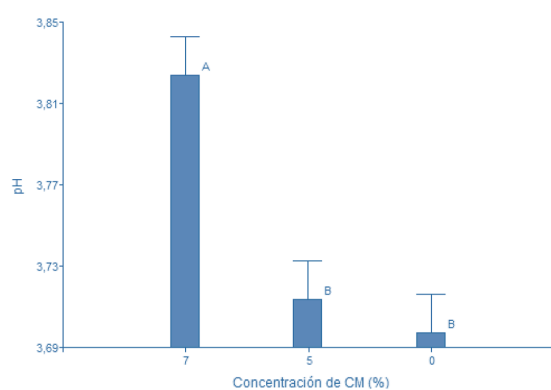


Figura 10. pH de los tratamientos con y sin CM, Día 9.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

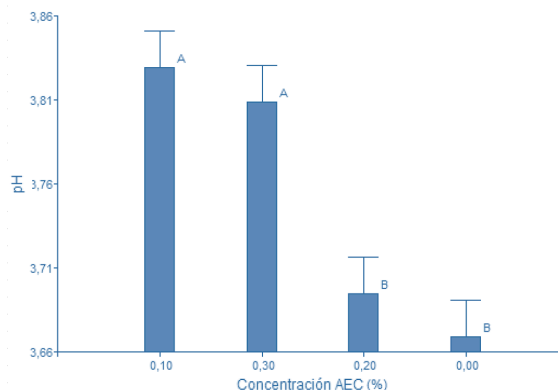


Figura 11. pH de los tratamientos con y sin AEC, Día 9.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

Al día 12 de igual manera que al día 9 todos los tratamientos cumplieron con la especificación salvo los tratamientos T1 (sin recubrimiento), T4 (0%CM;0,2%AEC) y T12 (7%CM; 0,2%AEC) que tuvieron un pH inferior al límite. Adicionalmente, la concentración de aceite esencial influyó significativamente en el pH de los tratamientos (Anexo 5). Los tratamientos con 0,2% de aceite esencial tuvieron el menor pH y diferente significativamente al pH de los tratamientos sin AEC y con 0,1% y 0,3% de AEC. Los recubrimientos con 0,2% de AEC hasta el día 9 retardaron el incremento del pH, pero al día 12 ya se detectó una reducción relacionada con el crecimiento del hongo *Botrytis cinerea*, por ello dos de los tratamientos que estuvieron por debajo de la especificación tenían 0,2% de AEC. Por el contrario, los tratamientos con 0,3% tuvieron un pH más alto que los tratamientos con 0,1% y sin AEC, lo que demostró el incremento de la tasa de respiración. El menor pH en los tratamientos con 0,1% de AEC fue debido a la acción de microorganismos que producen acidificación del tejido por la producción de ácidos orgánicos como resultado del decaimiento postcosecha de la fruta (Kumar et al., 2018).

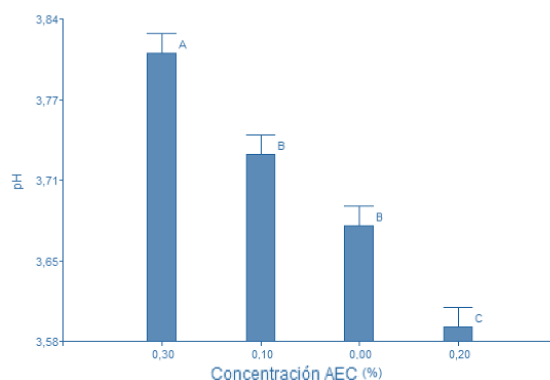


Figura 12. pH de los tratamientos con y sin AEC, Día 12.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

Al día 12 todos los tratamientos presentaron una reducción en el pH, como consecuencia del inicio del proceso de descomposición (Figura 7). La interacción entre la concentración de CM y la concentración de aceite esencial tuvo un efecto significativo en el pH de los tratamientos al día 12 (Anexo 5). Como se observa en la Figura 13, la concentración más alta de AEC (0,3%) aunque no previno el incremento de pH en las frutillas independientemente de la cantidad de CM demostró que fueron los tratamientos que tuvieron mayor pH o menor reducción del pH, es decir, dificultó el crecimiento del hongo *Botrytis cinerea* al no presentar aumento de la acidez y mantener un pH menos ácido. Mientras que las combinaciones de 0,2% de AEC con 0% o 7% de CM y 0%CM con 0%AEC generaron un pH por debajo de la especificación, o sea una reducción.

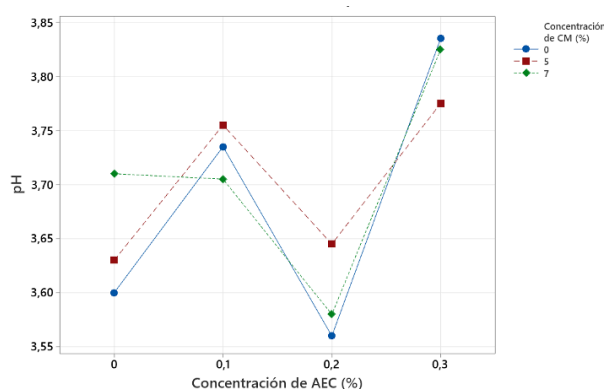


Figura 13. Influencia de la interacción de factores en el pH de los tratamientos, Día 12.

Con base en la especificación establecida y la influencia de los factores, la mayoría de los tratamientos fueron efectivos hasta el día 9, porque a partir del día 12 el pH descendió. Los tratamientos con 0,2% de AEC lograron evitar un incremento significativo del pH, sin embargo, el pH de los tratamientos con 0,1% o 0,3% de AEC también estuvo dentro de los límites planteados. Los tratamientos que lograron mantenerse dentro de la especificación por

más tiempo fueron los tratamientos T3(0%CM;0,1%AEC); T5(0%CM; 0,3%AEC) y T7(5%CM;0,1%AEC).

2.3 Grados Brix

Los sólidos solubles presentes en frutas están conformados por componentes importantes, especialmente azúcares y ácidos orgánicos, que son responsables del sabor y la consiguiente aceptación del producto por parte de los consumidores (Akhtar & Rab, 2015).

En general, se observa en la Figura 14 que el contenido de sólidos solubles incrementó con los distintos tratamientos aplicados conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, como consecuencia de la degradación de la pared celular o degradación de otros polisacáridos presentes en la fruta (Badawy et al., 2016; Nunes et al., 2006). Otros estudios mostraron que el aumento de los sólidos solubles se debía a la pérdida de agua que resulta en la concentración de azúcares y ácidos orgánicos (Garcia et al., 2011).

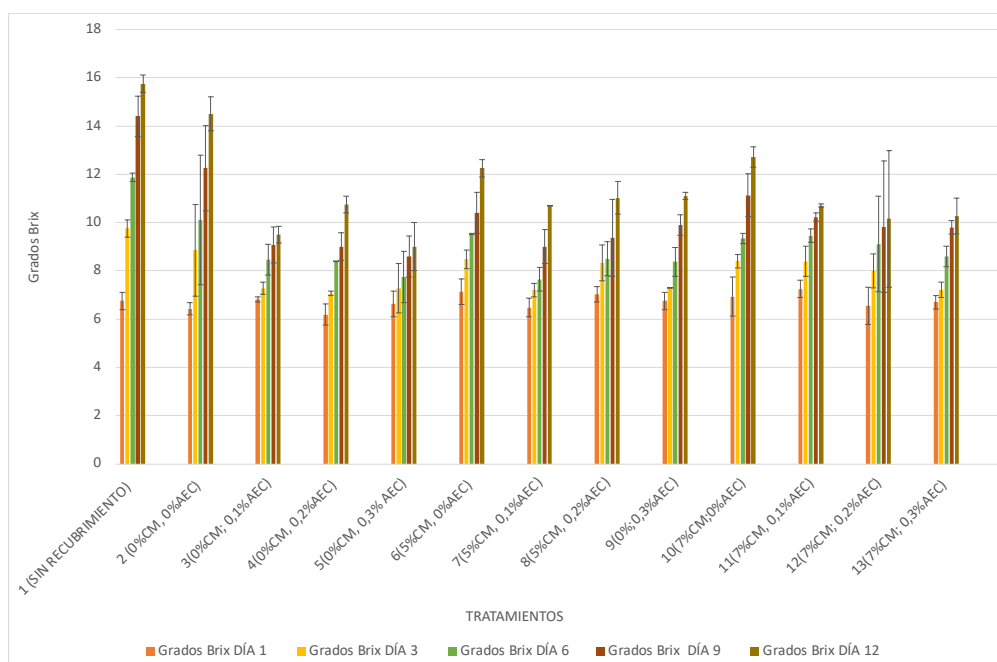


Figura 14. Sólidos solubles de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 6) al día 3 se evidenció diferencias significativas entre los grados brix de los tratamientos. Las frutillas sin recubrimiento (T1) presentaron un mayor contenido de sólidos solubles en comparación con el T12(7%CM; 0,2%AEC), T9(5%CM; 0,3%AEC), T5(0%CM;3%AEC), T3(0%CM;0,1%AEC), T13(7%CM; 0,3%AEC), T7(5%CM; 0,1%AEC) y T4(0%CM;0,2%AEC) (Figura 15A), es decir, en las frutillas sin recubrimiento fue más evidente la degradación de polisacáridos y la pérdida de agua que incrementó los sólidos solubles e incluso superó el límite máximo de la especificación (I. da Silva et al., 2019). Además del tratamiento T1, el T2 también sobrepasó la especificación (7,4-8,5) lo que afectó al balance que debe existir entre el contenido de sólidos solubles y la acidez para un equilibrio del sabor de la fruta (Lázaro Rodas et al., 2013). Desde el punto de vista de los consumidores es preferible frutillas más dulces que frutillas por debajo del límite de sólidos solubles, sin embargo, un incremento de sólidos solubles es un indicador del progreso de la maduración y disminución de la calidad que acorta la vida útil (Cao et al., 2015). Por otra parte, los tratamientos T3, T4, T5, T7, T9 y T13 ayudaron a retardar el incremento, puesto que, el contenido de sólidos solubles estuvo por debajo del límite de la especificación.

Al día 6 el T7 (5%CM; 0,1%AEC) tuvo menor contenido de sólidos solubles que las frutillas sin recubrimiento (T1) (Figura 15B), lo que mostró que los cambios postcosecha relacionados con los sólidos solubles de las frutillas recubiertas con el T7 fueron más lentos, y retrasó la tendencia creciente (Figura 15B). El T7 además de presentar diferencia significativa con el T1 estuvo dentro del grupo de tratamientos que cumplió con la especificación, al igual que los tratamientos T3, T4 y T5 que solo contenían 0,1%, 0,2%,

0,3% de AEC respectivamente y los tratamientos T7, T8 y T9 con 5% de CM y 0,1%,0,2%, 0,3% de AEC respectivamente.

Al día 9 todos los tratamientos superaron el límite de la especificación, pero el T1 tuvo significativamente mayor contenido de sólidos solubles que los tratamientos T4(0%CM; 0,2%AEC), T7 (5%CM; 0,1%AEC) y T5(0%CM; 0,3%AEC) (Figura 15C). Los tratamientos 4 y 5 no tenían CM, pero si AEC, por lo tanto, el aceite esencial fue el que ejerció el efecto en los cambios postcosecha de las frutillas, mientras que en el T7 fue la combinación de 5% de CM y la menor concentración de AEC (0,1%) que redujo el incremento del contenido de sólidos solubles.

A diferencia del día 9, al día 12 (Figura 15D) más tratamientos tuvieron menor contenido de sólidos solubles que el T1 ($p \leq 0,05$), o sea, más formulaciones fueron efectivas para evitar el incremento, sin embargo, al igual que en el día 9 ningún tratamiento cumplió con la especificación. Adicionalmente, los tratamientos 2, 10 y 6 no presentaron diferencia significativa con el tratamiento 1 (sin recubrimiento) y estos no contenían AEC en su formulación. La incorporación de AEC al recubrimiento ayudó a que los tratamientos retrasen el incremento de sólidos solubles, debido a que compuestos como cinamaldehído presentes en el AEC influyen en la actividad metabólica del fruto y reducen la hidrólisis de carbohidratos complejos a azúcares, además mejoran las propiedades de barrera del recubrimiento lo que contribuye a un menor aumento (Yousuf et al., 2021).

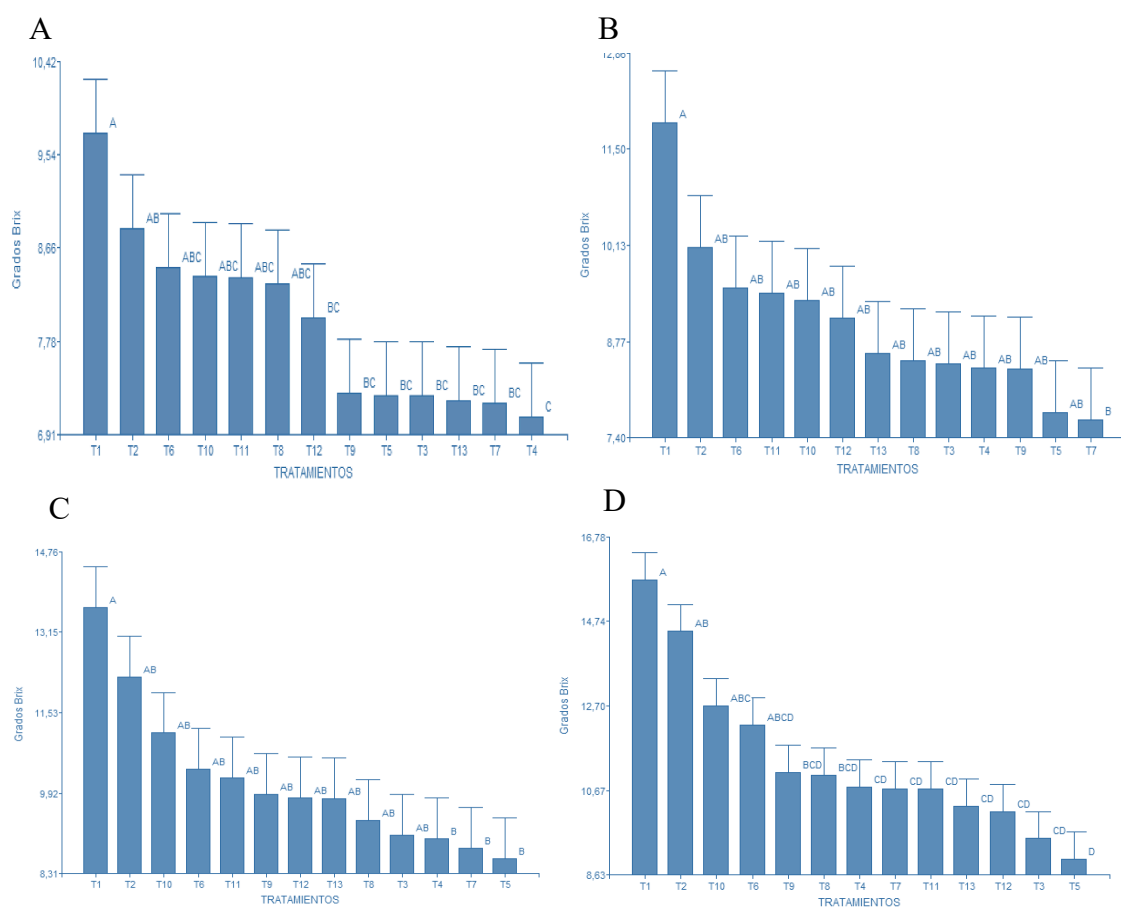


Figura 15. Contenido de sólidos solubles de los tratamientos.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

A) Día 3, B) Día 6, C) Día 9, D) Día 12.

Se determinó que a los días 9 y 12 la concentración de aceite esencial influenció en la variable de respuesta (Anexo 6). Las distintas concentraciones de AEC retardaron el incremento de sólidos solubles en comparación con los tratamientos sin AEC, que tuvieron un contenido significativamente mayor tanto al día 9 como al 12, sin embargo, no se identificó diferencias significativas entre las distintas concentraciones de AEC. Estudios similares mostraron que la incorporación de aceite esencial de canela tuvo un impacto efectivo en la desaceleración del metabolismo (Chu et al., 2020).

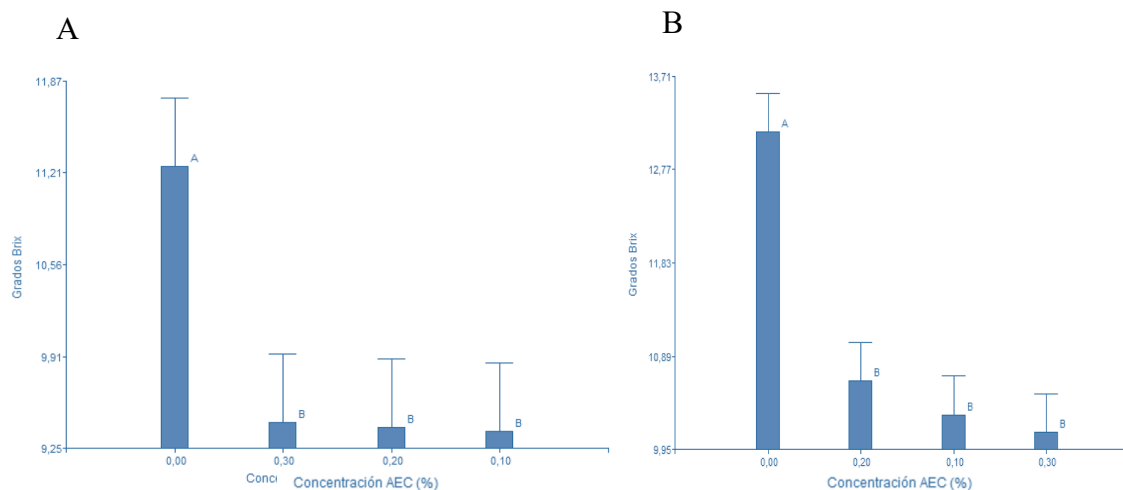


Figura 16. Contenido de sólidos solubles de los tratamientos con y sin AEC.
 *Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.
 A) Día 9, B) Día 12.

La incorporación de AEC al recubrimiento independientemente de la concentración demostró tener un efecto positivo al retrasar el incremento de sólidos solubles. Los tratamientos sin y con 5% de CM en combinación con las distintas concentraciones de AEC retrasaron el incremento, ya que alcanzaron la especificación recién al día 6. Sin embargo, los tratamientos T7 y T8 fueron los que tuvieron mejor respuesta en este parámetro. El T7 (5%CM; 0,1%AEC) se mantuvo dentro del grupo de tratamientos con menor contenido de sólidos solubles ($p \leq 0,05$) en comparación a las frutillas sin recubrimiento a partir del día 3 durante todos los días de análisis. Mientras que el tratamiento T8 (5%CM; 0,2%AEC) pese a que cumplió con la especificación al día 3 éste permaneció dentro del rango óptimo de sólidos solubles hasta el día 6 y fue el tratamiento que cumplió con la especificación por más días.

2.4 Acidez Titulable

La acidez titulable fue expresada como % de ácido cítrico por ser el ácido más abundante en la frutilla, y es una determinación utilizada para analizar los cambios en la

concentración de ácidos orgánicos (Ferrer-Morocho, 2020; Montero et al., 1996). En la Figura 17 se observa que conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento la acidez disminuyó, lo que coincide con el estudio de Gonzáles et al. (2021), donde un descenso en el contenido de la acidez titulable ocurrió conforme avanzó el proceso de maduración de la fruta. La concentración de ácidos orgánicos disminuye a partir de la postcosecha, debido a la utilización de estos como sustrato respiratorio, e indica que el metabolismo de la fruta continúa (Made et al., 2021).

También se identificó un comportamiento irregular relacionado con un incremento en la acidez. A partir del día 9 los tratamientos sin CM a excepción del T4 presentaron un incremento, mientras que en el resto de los tratamientos esto fue visible a partir del día 12. Se han reportado similares resultados en otros estudios que han sido atribuidos al incremento en la población de hongos o bacterias y su actividad metabólica, en la que utilizan azúcares, aminoácidos y compuestos fenólicos como fuente de energía o nutrientes y producen ácidos como metabolitos secundarios (Barrazueta-Rojas et al., 2018; Siburian et al., 2021c). De manera similar, en el estudio de Herrera-Acebedo (2011) se evidenció un aumento en la acidez a partir del día 2 de almacenamiento a temperatura ambiente que se relacionó con la concentración de ácidos como consecuencia de la deshidratación de las frutillas.

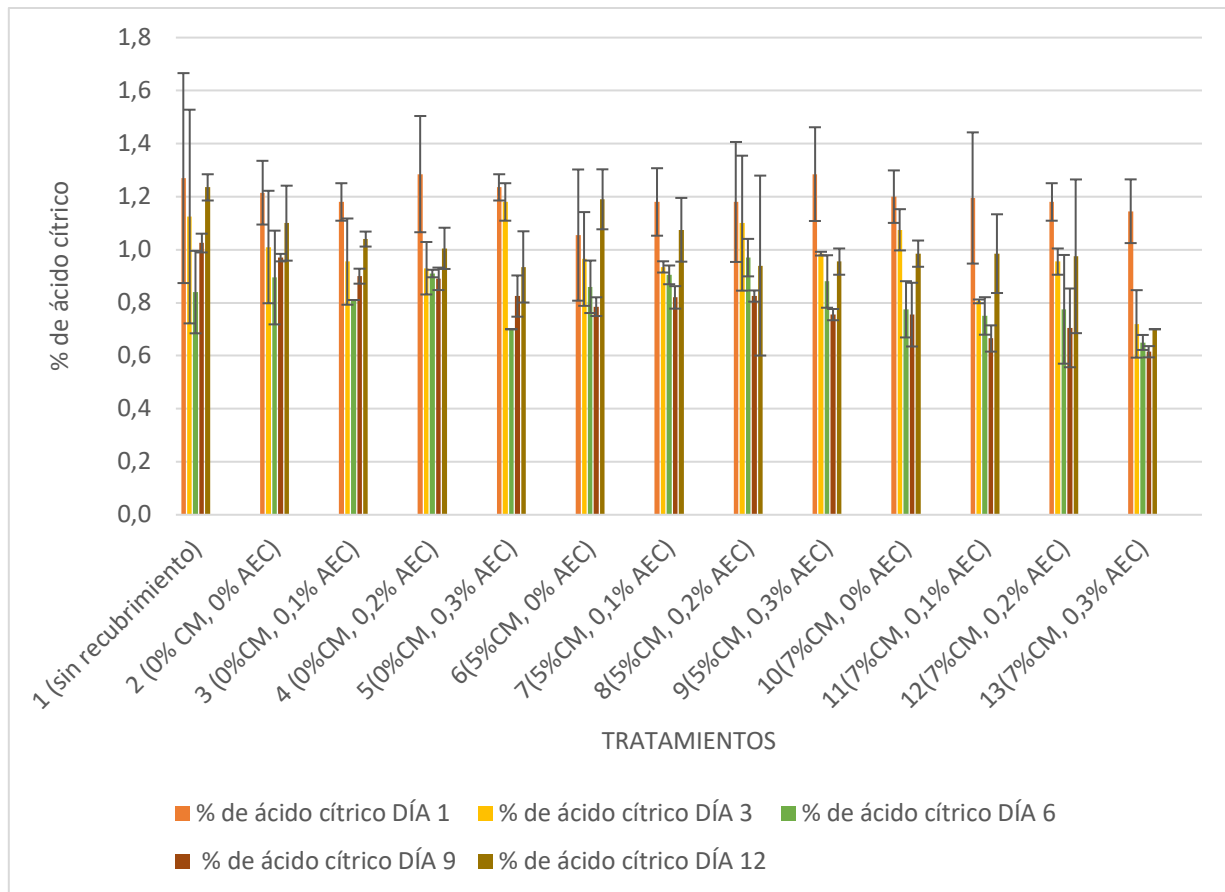


Figura 17. Acidez titulable (% de ácido cítrico) de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4°C.

Durante los días 1,3 y 6 del estudio no hubo diferencia significativa entre los tratamientos experimentales y el control ($p > 0,05$) (Anexo 7) no obstante, al día 1 y 3 ningún tratamiento cumplió con la especificación que sugiere un rango entre 0,82%-0,9% (ICONTEC, 2018). La acidez titulable de todos los tratamientos al día 3 fue mayor que el rango recomendado debido a la presencia de ácidos orgánicos acumulados durante las primeras etapas de desarrollo de la fruta, característico de los frutos frescos (Akhtar & Rab, 2015). Únicamente en los tratamientos T11 Y T13 la acidez titulable estuvo por debajo de la especificación lo que evidenció el consumo de ácidos orgánicos como sustratos para la respiración (Nguyen & Nguyen, 2021).

Al día 6 la acidez de los tratamientos T1, T2, T6 y T9 estuvo dentro de la especificación, o sea las frutillas alcanzaron la acidez sugerida para la comercialización. Por otro lado, la acidez de los tratamientos T4, T7, T8 y T10 fue superior al rango sugerido, es decir, las formulaciones del recubrimiento ayudaron a conservar los ácidos orgánicos e impedir su reducción. Por el contrario, la acidez de los tratamientos T3, T5, T11, T12 y T13 estuvo por debajo de la especificación, lo cual afectó al sabor y puso en riesgo de crecimiento microbiano a las frutillas.

Al día 9 (Figura 18A) existió diferencia significativa entre el tratamiento 1 (sin recubrimiento) y el tratamiento 13 (7%CM; 0,3%AEC). El T1 tuvo mayor acidez titulable que el T13 y además superó la especificación que establece un máximo de 0,9% al igual que el T2 (solo con pectina). Como se observa en la Figura 17, el tratamiento 1 y la mayoría de los tratamientos sin CM a partir del día 9 presentaron una variación de la acidez titulable, con tendencia hacia el incremento que se asocia con el proceso de deshidratación de las frutillas y concentración de ácidos orgánicos o la descomposición de la fruta por crecimiento microbiano debido a la ausencia de la capa protectora o recubrimiento (Vélez Bravo, 2015). En este día ya se justificó la incorporación de ciertas formulaciones del recubrimiento, en razón de que, las frutillas control (T1) ya superaron la especificación, mientras que otros tratamientos a partir del día 9 entraron dentro de la especificación lo que mostró un retraso en la disminución de ácidos orgánicos. Estos tratamientos fueron el T3(0%CM; 0,1%AEC), T4(0%CM; 0,3%AEC), T5(0%CM;0,1%AEC), T7 (5%CM;0,1%AEC) y T8(5%CM;0,2%AEC), tres de estos tienen en común la ausencia de CM lo que muestra la acción del AEC para mantener la acidez, mientras que los dos tratamientos restantes con una combinación de 5%CM con 0,1 y 0,2% de AEC mantuvieron la acidez titulable dentro de la

especificación. Según Shirzad et al. (2021), los recubrimientos con aceites esenciales mantienen niveles altos de CO₂ que reduce el consumo de ácidos orgánicos ya que crean una atmósfera modificada alrededor de la fruta.

Al día 12 ningún tratamiento cumplió con la especificación, ya que todos presentaron un incremento relacionado con el crecimiento de hongos. Sin embargo, se identificó diferencia significativa entre los tratamientos 1,6,2 y 7 con respecto al tratamiento 13 (7%CM; 0,3%AEC), que tuvo menor acidez titulable (0,7%) (Figura 18B). Tres de los tratamientos (T1, T6 y T2) tienen en común la ausencia de AEC en el recubrimiento, o sea no brindaron una protección efectiva con tendencia a la deshidratación o descomposición de la fruta al no prevenir la pérdida de ácidos orgánicos que ejercen un efecto antimicrobiano (Horvitz, 2017; Vélez Bravo, 2015). Por el contrario, el T13 tuvo menor acidez y fue el único que estuvo por debajo del límite mínimo, pese a que tenía la mayor concentración de CM y AEC no logró evitar la reducción de los ácidos orgánicos, que afecta al sabor, pero si previno el ataque de hongos al no mostrar hasta el día 12 incremento de la acidez y en todos los días de análisis se mantuvo por debajo de la especificación.

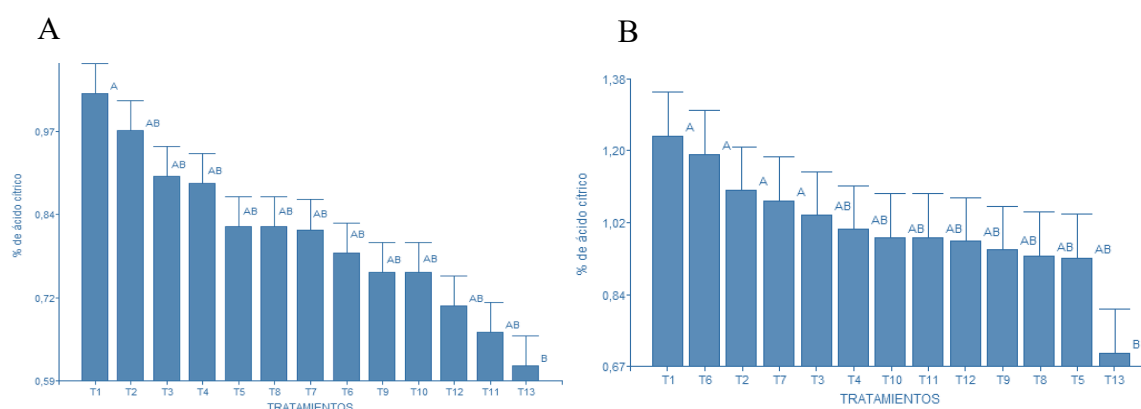


Figura 18. Acidez titulable de los tratamientos

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

A) Día 9, B) Día 12.

Al día 9 la concentración de CM, la concentración de AEC y la interacción de estos dos factores afectaron significativamente la acidez titulable de las frutillas (Anexo 7). La Figura 19 muestra la influencia del factor concentración de CM en la acidez titulable de las frutillas al día 9 de almacenamiento. El promedio de acidez titulable de los tratamientos sin CM al día 9 fue significativamente mayor que la media de los tratamientos con 5% y 7% de CM, debido a la contaminación por microorganismos. Si bien la adición de CM ayudó a evitar el incremento de la acidez, los tratamientos con 7% de CM estuvieron por debajo de la especificación debido a la actividad metabólica de la frutilla.

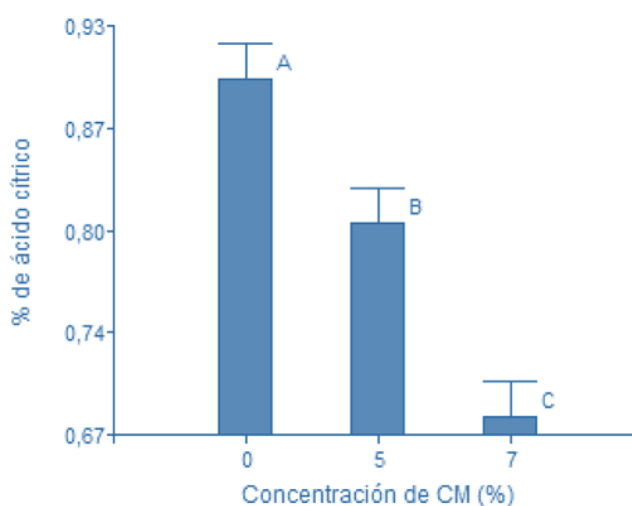


Figura 19. Acidez titulable (%) de los tratamientos con y sin CM, Día 9.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

Respecto a la influencia de la concentración del aceite esencial en la acidez titulable representada en la Figura 20, se determinó que los niveles de acidez titulable de los tratamientos sin AEC fueron significativamente más altos que la media de los tratamientos con 0,3% de AEC. El comportamiento de algunos de los tratamientos sin aceite esencial como el T1 y T2 (Figura 17), mostró un incremento en la acidez a partir del día 9, por la falta de protección de la fruta que pudo provocar la deshidratación y descomposición.

El rango de acidez aceptable para la frutilla está entre 0,82%-0,9% (ICONTEC, 2018). La media de acidez de los tratamientos con 0,2% de AEC al día 9 estuvo dentro de la especificación, mientras que en los tratamientos con 0,1% y 0,3% fue inferior. Es decir, al día 9 mientras hubo un incremento de la acidez en los tratamientos sin AEC, los recubrimientos con 0,3% de AEC mostraron una reducción significativa con un promedio de $0.73\% \pm 0.11$. Lo que sugiere que la incorporación al recubrimiento de concentraciones altas (0,3%) de AEC no logró evitar los cambios metabólicos que conducen al consumo de ácidos orgánicos en el proceso respiratorio (Ali et al., 2022).

Se esperaba que conforme aumenta la concentración de AEC en el recubrimiento se preserve mejor la acidez, sin embargo, el efecto fue contrario en los tratamientos con 0,3%. Similares resultados fueron reportados por Jokar et al. (2021), al estudiar varias concentraciones de AEC en un recubrimiento aplicado en granada, la acidez titulable disminuyó significativamente con la concentración más alta de AEC (0,75%), debido a las reacciones entre las sustancias activas del aceite esencial como el cinamaldehído y los compuestos ácidos de la fruta.

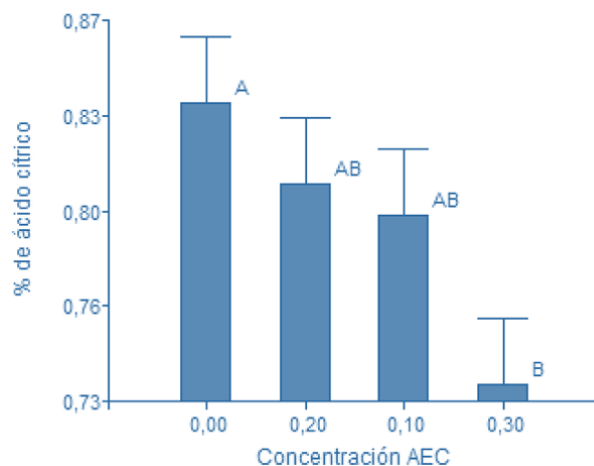


Figura 20. Acidez titulable (%) de los tratamientos con y sin AEC, Día 9.
 *Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

Como muestra la interacción de los factores (Figura 21), las frutillas que contenían en el recubrimiento 0,3% de AEC en combinación con cualquiera de los tres niveles de CM al día 9, obtuvieron los más bajos porcentajes de acidez titulable, que demuestra que el recubrimiento con 0,3% de AEC no logró reducir la tasa de respiración de la fruta y evitar que se usen los ácidos orgánicos para este proceso (Sharma et al., 2019). Por el contrario, las combinaciones efectivas de los factores para mantener el porcentaje de acidez titulable dentro de un rango aceptable hasta el día 9 fueron los tratamientos con 5% de CM y 0,2% de AEC, 5% de CM y 0,1% AEC y el tratamiento con 0% de CM y 0,2% o 0,1% de AEC.

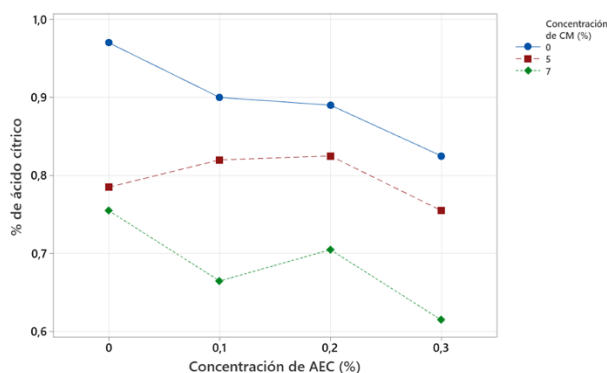


Figura 21. Influencia de la interacción de factores en la acidez titulable (%) de los tratamientos, Día 9.

2.5 Índice de madurez

El índice de madurez calculado como la relación de grados brix y acidez titulable es un parámetro importante relacionado con la vida útil y la calidad de las frutillas. Cuando las frutillas no llegan a su madurez óptima tienen una mala calidad organoléptica (sabor), por el contrario, cuando están demasiado maduras son propensas a sufrir lesiones principalmente por el ablandamiento de los tejidos (Rahman et al., 2016).

De acuerdo con la Figura 22 el índice de madurez incrementó en función del tiempo de almacenamiento, sin embargo, en algunos tratamientos fue más rápido que en otros. Visualmente, los tratamientos que exhibieron menor incremento fueron los tratamientos 3,4,5 (0% de CM y 0,1%,0,2%,0,3% de AEC respectivamente) y los tratamientos 7 y 8 (5% de CM y 0,1% ,0,2% de AEC respectivamente). En ciertos tratamientos a partir del día 12 el comportamiento fue irregular, con disminución debido a la relación indirecta entre el índice de madurez con la acidez (González-Chavarro et al., 2021), que como se mencionó anteriormente aumentó en los días 9 y 12 en algunos tratamientos debido a la actividad metabólica de microorganismos en las frutillas que producen ácido como producto secundario (Sibirian et al., 2021a); estos resultados difieren de los reportados por Martínez et al. (2018a) que todos los tratamientos con recubrimiento exhibieron un incremento gradual en el índice de madurez y disminución de la acidez conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento.

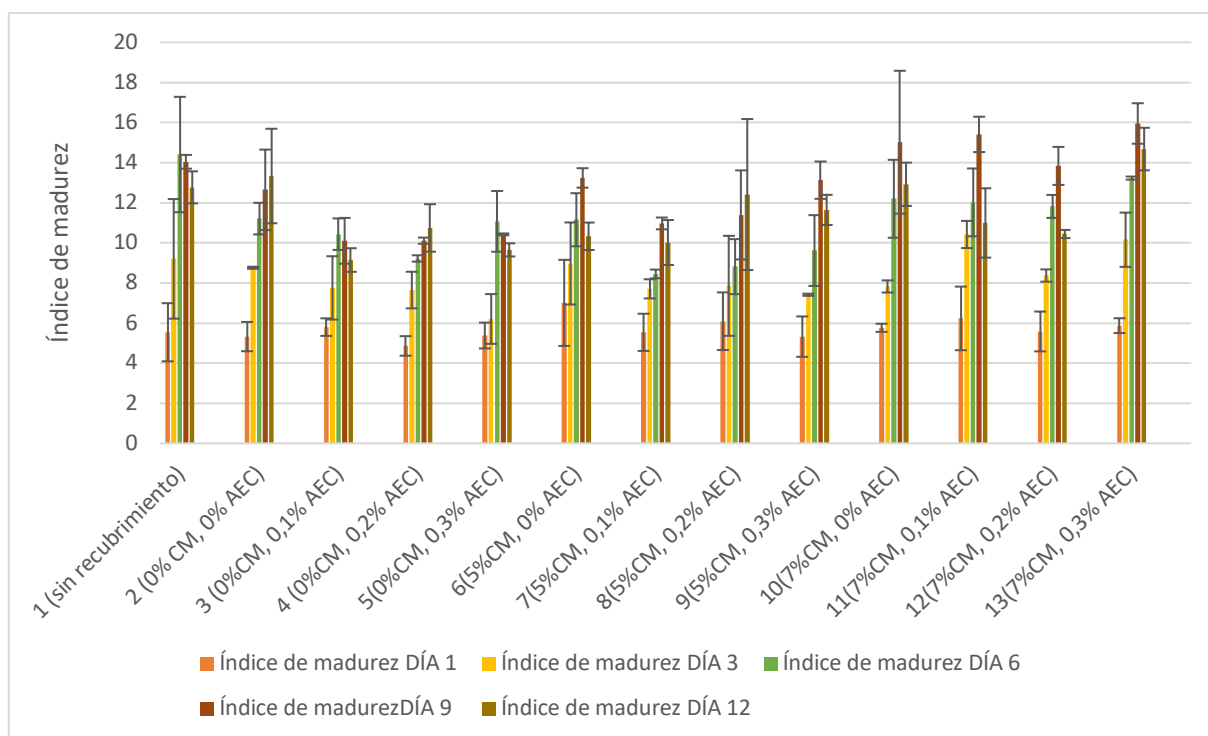


Figura 22. Índice de madurez de los tratamientos durante los 12 días de almacenamiento, a 4 °C.

Valores mínimos de índice de madurez para la comercialización y consumo se encuentran entre 7,4 y 8,9 (ICONTEC, 2018). Al día 3 las frutillas sin recubrimiento (T1) y los tratamientos T6, T11 y T13 ya sobrepasaron la especificación, mientras que los tratamientos T2, T3, T4, T7, T8, T9, T10 y T12 estuvieron dentro de lo recomendado, lo que demuestra la efectividad de algunas formulaciones del recubrimiento para retrasar el incremento de índice de madurez respecto a las frutillas sin recubrimiento.

Al día 6 los únicos tratamientos cuyo índice de madurez permaneció dentro de la especificación fueron los tratamientos T7 y T8. Conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento al día 9 y 12 todos los tratamientos sobrepasaron la especificación lo que repercutió en la apariencia, firmeza, valor nutricional y sabor. Conforme se incrementa el índice de madurez la vida útil disminuye principalmente por el ablandamiento de la pared

celular, por ello la norma establece que para determinar un grado de madurez adecuado este debe permitir la manipulación y no presentar signos de deterioro (Moshiur Rahman, 2016).

Adicionalmente, a partir del día 6 hubo diferencia significativa entre los tratamientos y el control (Anexo 8). Las frutillas sin recubrimiento (T1) mostraron un índice de madurez significativamente más alto que las frutillas recubiertas con 5% de CM y 0,1%/ 0,2% de AEC (T7 y T8) o sea, el recubrimiento ayudó a prevenir el incremento en el índice de madurez (Figura 23). Aitboulahsen et al. (2018) también encontraron en frutillas sin recubrimiento un incremento significativo del índice de madurez en comparación con las muestras recubiertas.

Dentro del grupo de tratamientos que al día 6 no presentaron diferencia significativa con el tratamiento control (T1) están los que contenían 7% de CM en combinación con las distintas concentraciones de AEC (T10, T11, T12 y T13). Similares resultados se obtuvieron al analizar la pérdida de peso de los tratamientos, esto se puede explicar por el hecho de que una concentración alta de CM tiende a aglomerarse y genera un recubrimiento con estructura frágil e irregular que no brinda una protección efectiva (Dogan & McHugh, 2007). En el trabajo de Othman et al. (2019), la concentración de CM afectó la afinidad entre el relleno y la matriz y alteró las propiedades mecánicas del recubrimiento y las propiedades de barrera.

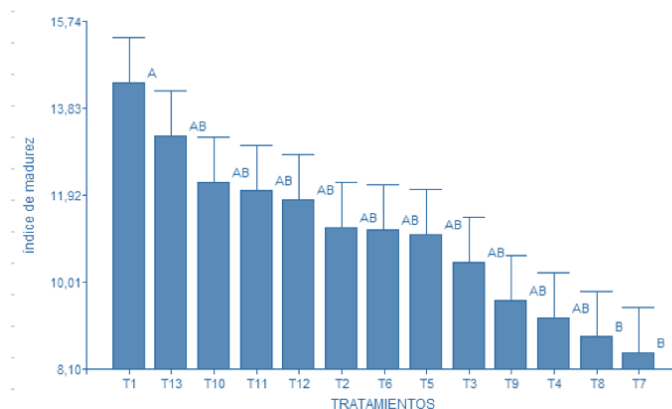


Figura 23. Índice de madurez de los tratamientos, Día 6.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

Tanto al día 6 como al día 9 la concentración de CM tuvo un efecto significativo en el índice de madurez (Anexo 8). Los tratamientos con 5% de CM en ambos días alcanzaron un índice de madurez significativamente menor que los tratamientos con 7% de CM (Figura 24), es decir, la incorporación de 5% de CM en los recubrimientos de frutillas ayudó a retrasar el proceso de maduración. Sin embargo, al día 6 los tratamientos con 5% de CM no difirieron significativamente de los tratamientos sin CM, y al día 9 ya existió diferencia significativa entre las distintas concentraciones de CM. El índice de madurez de los tratamientos con 7% de CM fue mayor que los tratamientos con 5%, y los tratamientos sin CM exhibieron el menor índice de madurez ($p \leq 0,05$) (Figura 24B). Este comportamiento de los tratamientos sin CM está vinculado con el incremento de la acidez titulable a partir del día 9, que a su vez está relacionado con el proceso de deterioro de las frutillas como consecuencia de crecimiento microbiano o por deshidratación de la fruta (Barrazueta-Rojas et al., Herrera-Acevedo, 2011.,2018; Siburian et al., 2021).

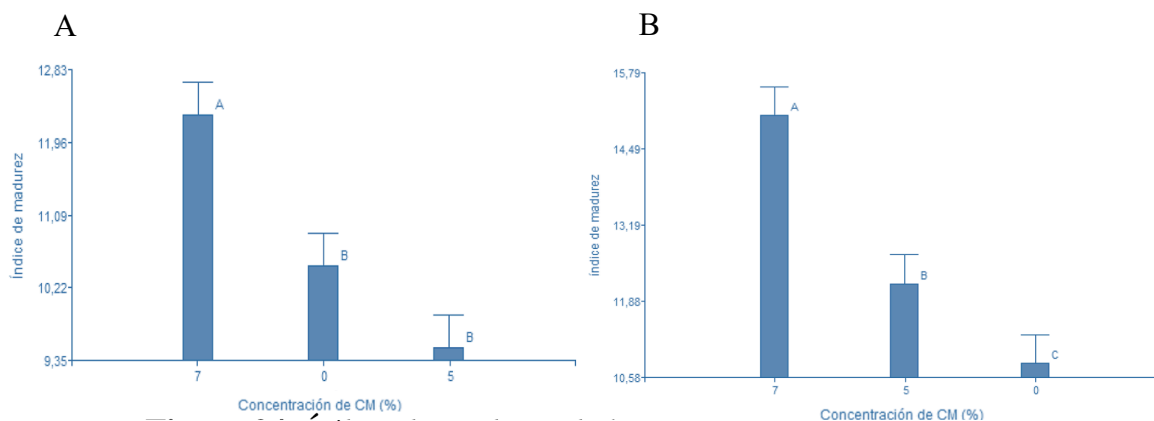


Figura 24. Índice de madurez de los tratamientos con y sin CM.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.
A) Día 6, B) Día 9.

La interacción entre los factores tuvo un efecto significativo en el índice de madurez de las frutillas al día 6. Como se observa en la Figura 25, las combinaciones entre de 0,1% o 0,2% de AEC junto con 5% de CM generaron el menor índice de madurez al día 6, o sea, retrasaron los cambios metabólicos. Por otro lado, los recubrimientos sin CM y con 7%CM presentaron un índice de madurez más alto en comparación con el resto de los tratamientos. Todos los tratamientos a excepción de los tratamientos con 5%CM y 0,1% o 0,2% AEC sobrepasaron la especificación, como resultado la actividad metabólica más acelerada. Sin embargo, el hecho de que algunos tratamientos experimentales sobrepasaran el rango no significa que las frutillas ya no puedan ser consumidas. La norma establece que para determinar si el grado de madurez es aceptado este debe permitir la manipulación y transporte sin deterioro (ICONTEC, 2018) y evaluar la acumulación de sólidos solubles, la reducción de acidez titulable, cambios en el color y parámetros microbiológicos (Perkins-Veazie, 2010).

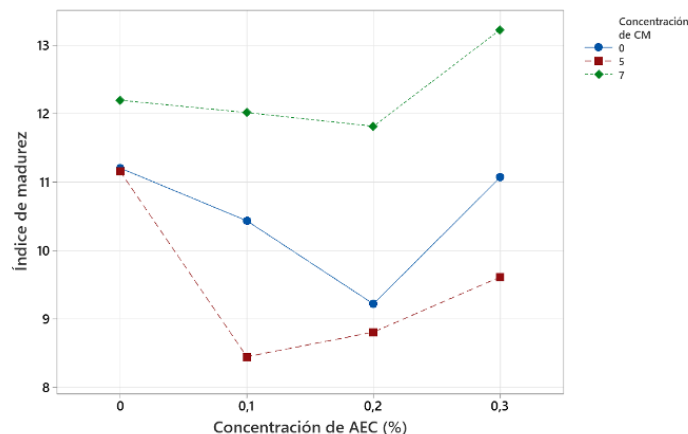


Figura 25. *Influencia de la interacción de factores en los tratamientos, Día 6.*

2.6 Contenido de antocianinas

El cambio de color de las frutas se atribuye a la síntesis de antocianinas y a la degradación de la clorofila (García et al., 1998). Las antocianinas en las frutillas son los compuestos fenólicos más importantes, responsables del color rojo, usadas como indicadores naturales de la maduración de la frutilla. En algunos tratamientos hubo un incremento en el contenido de antocianinas, mientras que en otros una reducción (Figura 26). Según otras investigaciones, conforme la frutilla madura el contenido de antocianinas se incrementa lo que provoca que aumente la intensidad del color rojo, pero llega un punto en que la frutilla está completamente madura y comienza a disminuir a causa de la degradación por enzimas hidrolíticas (Akhtar & Rab, 2015; Thomas et al., 2016; Treviño-Garza et al., 2015). En el presente estudio, las frutillas sin recubrimiento (tratamiento 1) alcanzaron el contenido máximo de antocianinas al día 3 seguido de un descenso. En ausencia del recubrimiento hubo un aumento rápido en el contenido de antocianinas explicado por el proceso de maduración y el efecto de la alta pérdida de peso que promueve la concentración de pigmentos (Shehata et al., 2020).

De acuerdo a otros estudios el contenido de antocianinas debe oscilar entre 30,4 a 49 mg de cianidina 3-glucósido/100g. Con la aplicación del recubrimiento se busca retrasar la síntesis y llegar a un punto en que el contenido de antocianinas alcance y permanezca dentro de la especificación. Algunos tratamientos conservaron el contenido dentro de lo establecido durante más días (T8, T2, T6 y T12), lo que reflejó que estas formulaciones fueron efectivas para conservar el color. Por otro lado, hubo un aumento progresivo en los tratamientos T4 (0%CM; 0,2%AEC) y T7 (5%CM; 0,1%AEC) que alcanzaron la especificación al día 9, o sea, se consiguió retardar la síntesis de estos polifenoles. Paralelamente, en otros tratamientos (T3, T5, T10, T11 y T13) la concentración se mantuvo por debajo de 30,4mg, posiblemente estas formulaciones de recubrimiento afectaron la síntesis de antocianinas y se generaron color menos intenso y opaco debido a que el recubrimiento forma una capa con restricciones excesivas al intercambio de gases que conduce al agotamiento de O₂ y acumulación de CO₂ capaz de inhibir la respiración e impedir la síntesis de antocianinas (Emragi et al., 2022; Hu et al., 2022). En tanto que las frutillas sin recubrimiento alcanzaron el rango de 30,4 a 49 mg en los días 3 y 6 seguido de un descenso causado por cambios en el pH o en el ambiente circundante que termina con la formación de antocianinas lábiles al separar las moléculas de azúcar de su estructura que conduce a su degradación (Aamer et al., 2021).

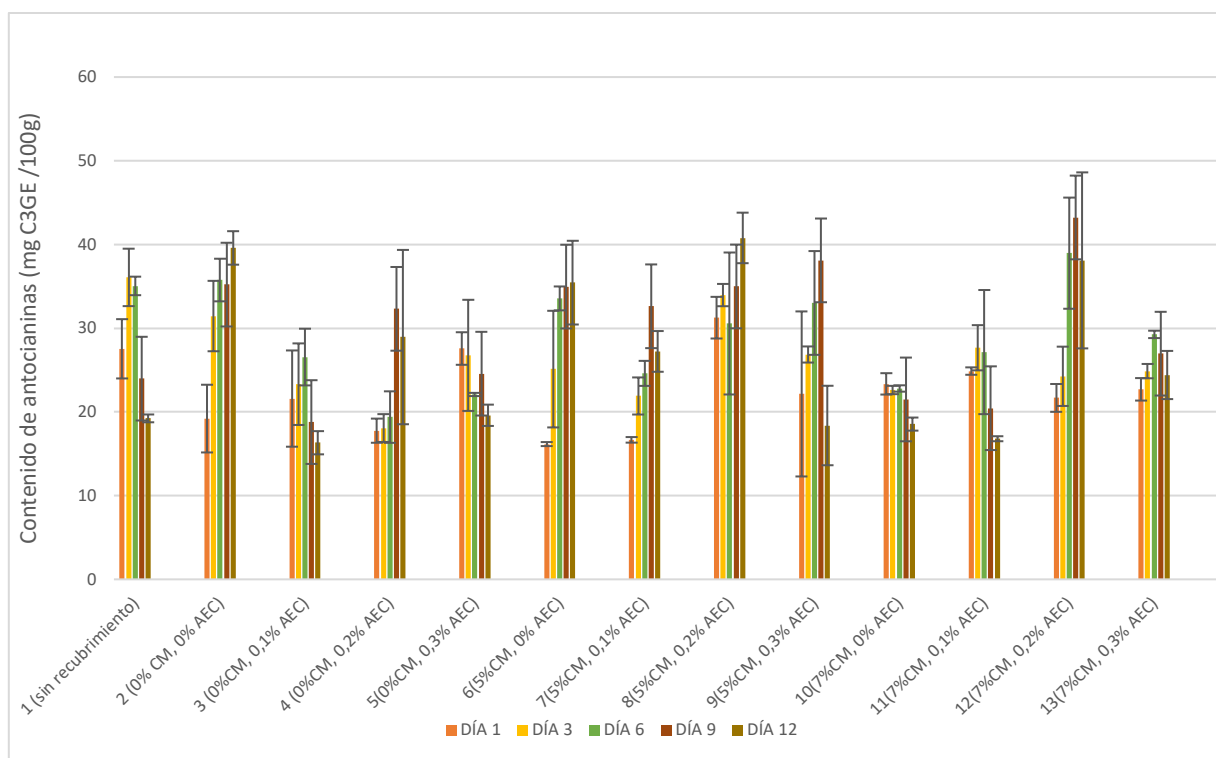


Figura 26. *Contenido de antocianinas de los tratamientos durante 12 días de almacenamiento, a 4 °C.*

Las frutillas de los distintos tratamientos mostraron niveles que no difirieron significativamente en los días 1, 6 y 9 (Anexo 9) y que coincidió con Shin et al. (2007) que reportaron ausencia de cambios significativos en la concentración del pigmento cuando las frutillas fueron almacenadas a temperatura entre 0.5°C y 10°C. Sin embargo, al día 3 las frutillas sin recubrimiento (T1) alcanzaron un contenido de antocianinas significativamente mayor que las frutillas del tratamiento 4 (0%CM y 0,2% AEC), lo que revela que la incorporación de AEC influyó en la actividad metabólica y disminuyó la velocidad de las reacciones bioquímicas que conducen a la síntesis de antocianinas (Badawy et al., 2016). En el estudio de Shehata et al. (2020) las frutas recubiertas con aceite esencial presentaron la menor concentración de antocianinas, debido a la propiedad antioxidante de los aceites esenciales que reduce la difusión de oxígeno e incrementa la acumulación de CO₂ con

disminución de la actividad de las enzimas y las reacciones bioquímicas responsables de la síntesis de antocianinas.

Al día 12 los tratamientos 8 (5%CM, 0,2%AEC), 2 (0%CM,0%AEC) y 12 (7%CM, 0,2%AEC) tuvieron mayor contenido de antocianinas ($p<0.05$), que los tratamientos: 5(0%CM;0,3%AEC), 1(sin recubrimiento), 10(7%CM;0%AEC), 9(5%CM;0,3%AEC), 11(7%CM; 0,1%AEC) y 3 (0%CM; 0,1%AEC). Esta reducción se debe a que el recubrimiento no formó una matriz adecuada que contribuya a retrasar la llegada de los frutos al punto de la maduración en que comienza la degradación de las antocianinas por acción de enzimas hidrolíticas que rompen el enlace glucosídico y conducen a la pérdida del color (Pizato et al., 2021). Si se compara el contenido de antocianinas de los días 9 y 12 de los tratamientos con el menor contenido de estos antioxidantes, se visualiza en la Figura 26 una tendencia descendente, que sugiere que las frutillas alcanzaron su madurez máxima antes del día 12 y comenzó el descenso en la concentración de antocianinas. Además, es necesario considerar que factores como la reducción del contenido de humedad y cambios en la acidez juegan un papel importante en la estabilidad de las antocianinas que pudieron haber acelerado la pérdida (Jokar et al., 2021).

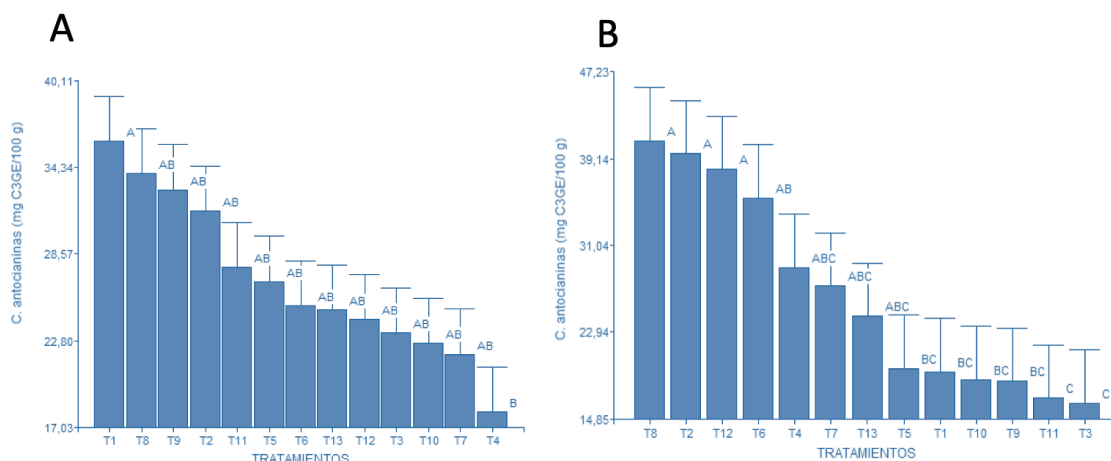


Figura 27. Contenido de antocianinas de los tratamientos.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

A) Día 3, B) Día 12.

La interacción de los factores influyó significativamente sobre el contenido de antocianinas los días 1, 3 y 6 (Anexo 9). La interacción del día 1 (Figura 28A), reflejó que desde un inicio existió variación en el contenido. Tanto al día 1 como al 3 la interacción entre 5% de CM y 0,2%AEC ayudó a mantener la concentración dentro de lo establecido. El tratamiento sin CM y sin AEC del día 1 al 3 tuvo un incremento pronunciado, es decir, no se retardó el proceso de maduración y la síntesis de antocianinas. Al día 6 (Figura 28C) la tendencia cambió, los tratamientos con 7%CM y 0,2% de AEC y el tratamiento con 0%CM y 0%AEC fueron los que mayor contenido alcanzaron; mientras que las frutillas recubiertas con 5% de CM y 0,2%AEC si bien tenían tendencia decreciente aún mostraron datos cercanos al día 3 (Figura 28B), o sea una protección a la reducción de antocianinas. De similar manera que al día 3, los tratamientos que ayudaron a retrasar la síntesis de antocianinas al día 6 fueron los recubrimientos con base en 5%CM,0,1%AEC, 0%CM,0,2%AEC y 7%CM, 0%AEC.

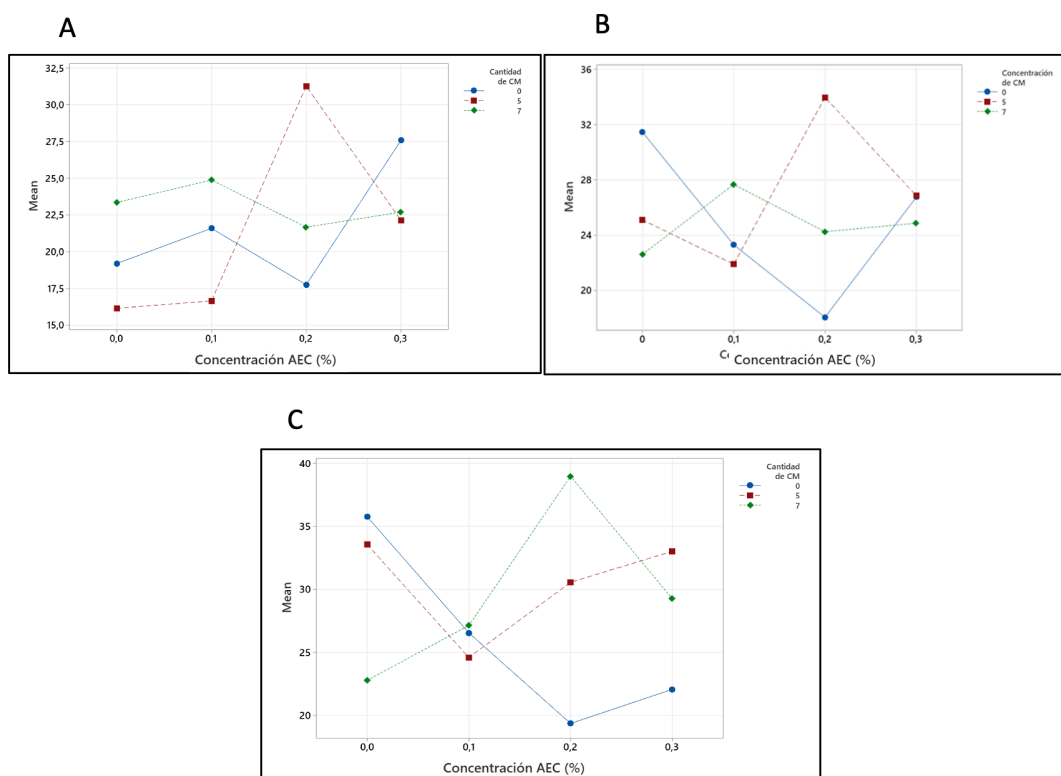


Figura 28. Influencia de la interacción de factores en los tratamientos.
A) Día 1, B) Día 3, C) Día 6.

El día 9 la concentración de AEC tuvo un efecto significativo en el contenido de antocianinas (Anexo 9). La adición de 0,2% de AEC resultó en un mayor contenido que las frutillas con 0,1% y dentro del rango, en tanto que en los tratamientos con 0,1% fue inferior.

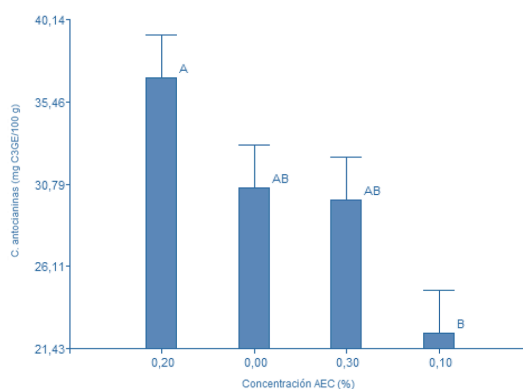


Figura 29. Contenido de antocianinas de los tratamientos con y sin AEC, Día 9.
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.

Al día 12 la concentración de 0,2% AEC al igual que al día 9 ayudó a mantener el contenido de antocianinas en el nivel más alto y significativo con relación a los tratamientos sin AEC, con 0,3% y 0,1%. La incorporación de 0,2% de AEC al recubrimiento fue efectivo para reducir la tasa de respiración y las actividades enzimáticas y conservar una alta concentración (Shehata et al., 2020). Sin embargo, no existió diferencia significativa entre los tratamientos sin aceite esencial, con 0,3% y 0,1% que tuvieron menor contenido o sea una reducción, por debajo de 30.4-49 mg de cianidina3-glucósido/100g, como consecuencia de los cambios metabólicos como aumento del pH o pérdida de peso que afectan su estabilidad (Kalt et al., 2011). Tanto la incorporación de la concentración más alta o más baja de AEC estudiada no fue efectiva para evitar la reducción del contenido de antocianinas al día 12 que en los tratamientos con 0,1% de AEC pudo deberse a la senescencia y deterioro de los frutos (Nadim et al., 2015). En los tratamientos con 0,3% de AEC sería consecuencia de la modificación de la atmósfera interna y acumulación de CO₂, que según Li et al. (2022) induce a la degradación de antocianinas causada por un aumento en el pH o disminución en la copigmentación con otros fenoles.

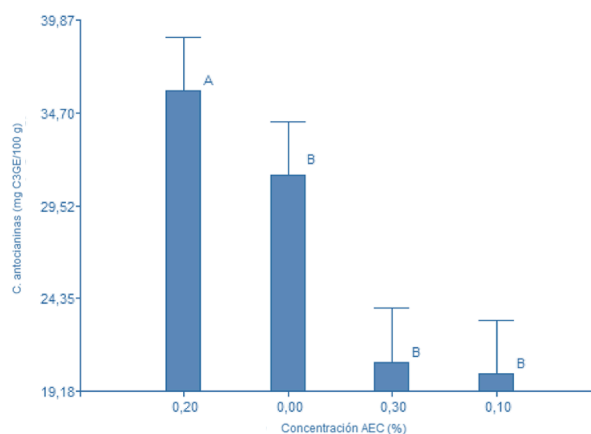


Figura 30. Contenido de antocianinas de los tratamientos con y sin AEC, Día 12.

**Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), por la prueba de Tukey.*

3. Ponderación de las variables de respuesta

El puntaje final de cada tratamiento, obtenido bajo el criterio del cumplimiento de las especificaciones de las variables de respuesta (Anexo 10), se muestra en la Tabla 3. Los tratamientos con puntaje más alto cumplieron con los parámetros evaluados durante más días de análisis, es decir, se logró prolongar la vida útil de las frutillas y mantener la calidad requerida para la comercialización y consumo.

Tabla 3. Puntaje final tabla de ponderación

Tratamientos	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Puntaje	44	43	43	33	39	54	55	44	31	29	24	27

Se utilizó el gráfico de caja y bigote (Figura 31) para representar la distribución de los puntajes finales de los tratamientos evaluados. Los tratamientos que obtuvieron un puntaje superior al cuartil tres (44 puntos) que representa el 75% de los datos se definieron como los mejores y fueron T7 (5%CM; 0,1%AEC) y T8 (5%CM; 0,2%AEC). Estos recubrimientos ayudaron a prolongar la vida útil de la frutilla hasta el día 6 si se considera como parámetro más importante el índice de madurez.

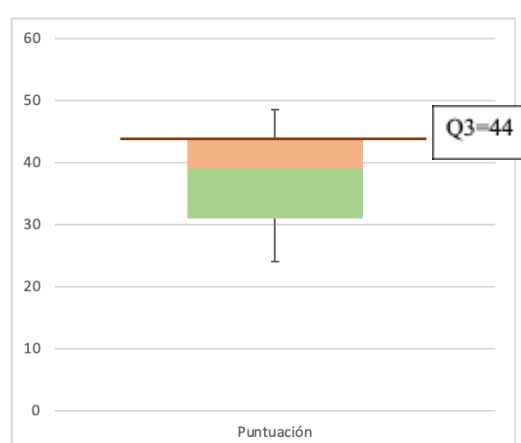


Figura 31. Distribución de la puntuación general de los tratamientos de recubrimiento obtenida en la tabla de ponderación.

4. Análisis microbiológico

La vida útil de la frutilla está relacionada con las infecciones causadas por bacterias y hongos. La Figura 32 muestra el efecto de los diferentes tratamientos sobre el crecimiento de aerobios mesófilos. Se observa que conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento a 4°C hubo un incremento progresivo en todos los tratamientos. Sin embargo, en los tratamientos 7 y 8 con 0,1% y 0,2% de AEC respectivamente la densidad microbiana fue más baja que en el resto. El crecimiento progresivo de aerobios mesófilos es asociado con el avance del deterioro postcosecha, y disminución de la acidez y metabolitos de defensa como compuestos fenólicos, que hacen que la fruta sea propensa a ataques de microorganismos (Hassan et al., 2022).

Como no existe una norma específica para frutillas frescas que declare los criterios microbiológicos, se tomó como referencia especificaciones para frutas frescas semiprocessadas, que deben ser lavadas, desinfectadas, peladas y/o precocidas y refrigeradas (MINSA/DIGESA., 2003). En la norma se establece para la comercialización de la fruta, un límite máximo de 10^6 (UFC/g) para aerobios mesófilos y de 10^4 (UFC/g) para mohos y levaduras (Medina-Ruiz, 2015; MINSA/DIGESA., 2003).

Todos los tratamientos evaluados sobrepasaron el límite máximo permisible entre los días 9 y 12. Sin embargo, los tratamientos 7 y 8 con 5% de CM y 0,1%, 0,2% de AEC respectivamente, contribuyeron a un crecimiento más lento de microorganismos que tardó más días en superar el límite máximo, presumiblemente por el efecto antimicrobiano del

aceite esencial de canela (Figura 32). Para Siburian et al. (2021 a) este efecto se debe a compuestos como cinamaldehído y eugenol retrasan la proliferación ya que inhiben la producción de enzimas esenciales para la generación de energía, además de la capacidad de los compuestos fenólicos presentes en el aceite esencial para dañar la pared celular de las bacterias, afectar las membranas citoplasmáticas e interferir en la generación de energía.

También se observa que la adición de celulosa microcristalina retardó el crecimiento de bacterias, ya que después de los tratamientos con aceite esencial, el tratamiento 10 con 7% de CM tardó más días en alcanzar el límite en comparación al resto sin CM (T1, T2 y T6).

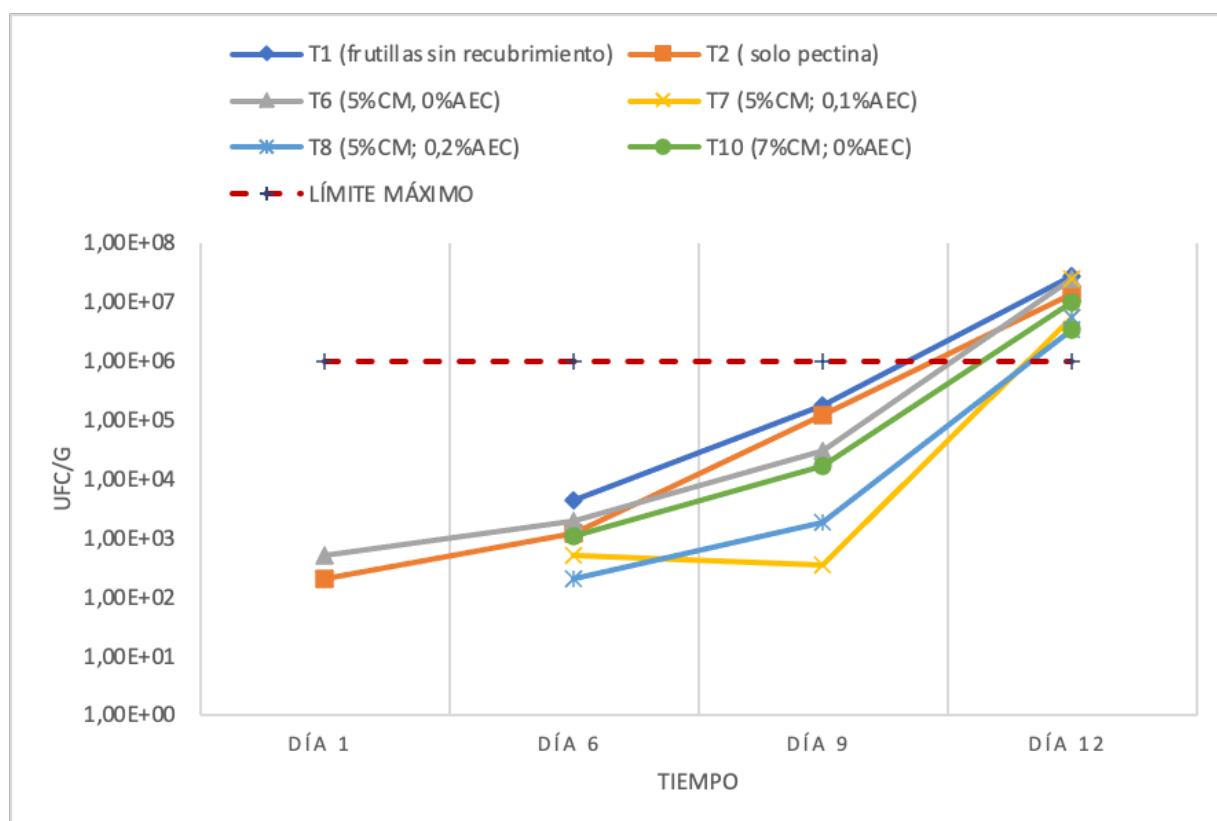


Figura 32. Recuento de aerobios mesófilos en frutillas recubiertas con distintos tratamientos durante varios días de almacenamiento a 4 °C.

Nota: Algunos tratamientos no mostraron crecimiento significativo de aerobios mesófilos, por lo que se reporta como <100 UFC/g.

La Figura 33 muestra el conteo de mohos y levaduras. Se evidencia que antes del día 9 solo los tratamientos 7 (5%CM y 0,1%AEC) y 8 (5%CM; 0,3% AEC) no sobrepasaron el límite máximo permitido para comercializar la fruta, gracias a la acción antifúngica del aceite esencial de canela. Aunque el tratamiento 8 logró retrasar el incremento de mohos y levaduras se observó que la firmeza de la frutilla fue afectada. Estudios han demostrado que concentraciones más altas de aceites esenciales son eficaces para reducir el deterioro microbiano, pero afectan la calidad fisicoquímica debido a la acción de los componentes del aceite esencial sobre el tejido del fruto que provocan cambios estructurales en la firmeza de la fruta (Antunes et al., 2012).

Al día 9 el conteo de mohos y levaduras para los tratamientos 7 y 8 fue de 9×10^3 UFC/g y $3,50 \times 10^3$ UFC/g respectivamente, que están por debajo del límite máximo permisible. En el estudio de Medina-Ruiz (2015) que evaluaba la vida útil de la frutilla, el objetivo era mantener la población de mohos y levaduras dentro del rango aceptable que oscila entre 10^3 UFC/g y 10^4 UFC/g y que garantiza que la fruta pueda ser consumida sin riesgo para la salud. En el presente estudio la aplicación del recubrimiento correspondiente al T7 logró extender la vida útil desde el punto de vista microbiológico hasta el día 9 de almacenamiento.

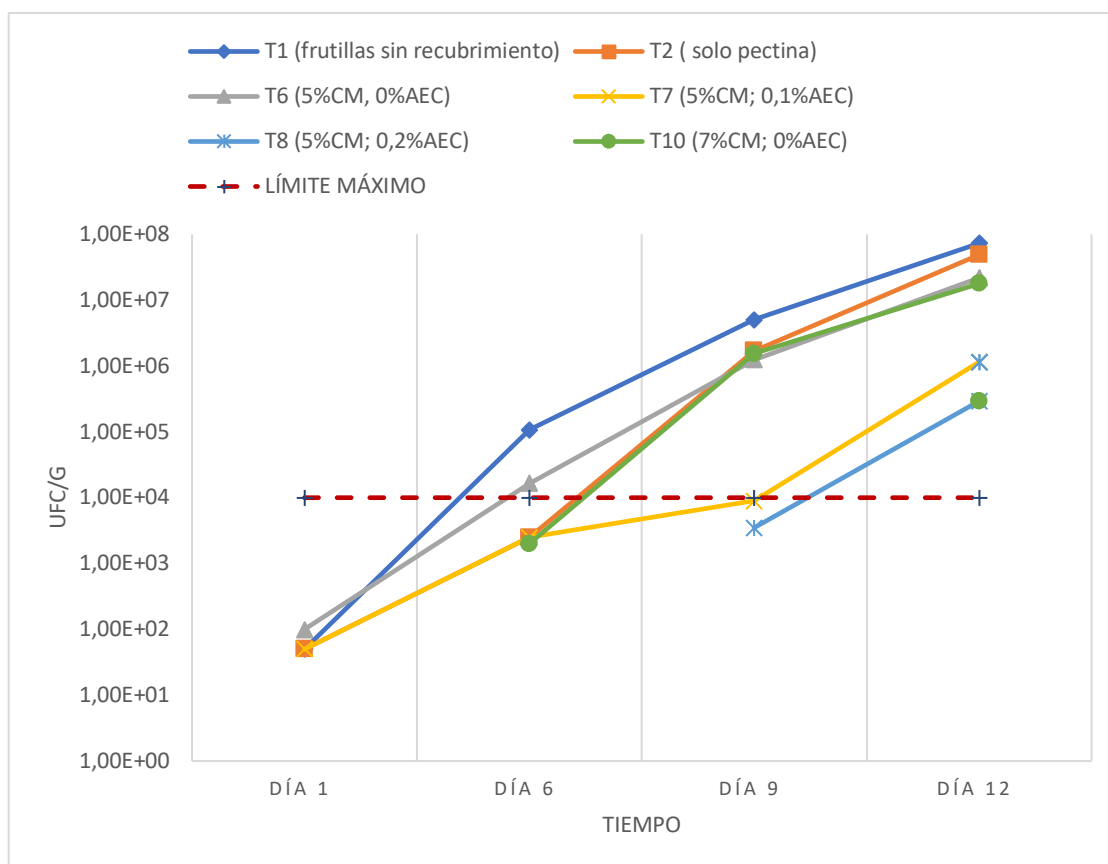


Figura 33. Recuento de mohos y levaduras en frutillas recubiertas con distintos tratamientos durante varios días de almacenamiento a 4 °C.

Nota: Algunos tratamientos no mostraron crecimiento significativo de mohos y levaduras, por lo que se reporta como <100 UFC/g.










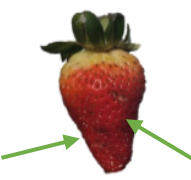














El cambio en la apariencia y el proceso de descomposición fúngica en las frutillas con los distintos tratamientos evaluados se presenta en la Tabla 4. Conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento fue perceptible la evolución de la infección por hongos. En las frutillas sin recubrimiento inició a partir del día 6, al igual que en las frutillas con recubrimiento únicamente con base en pectina (T2). Adicionalmente, al día 6 la frutilla con 5% de CM (T6) mostró pequeñas manchas oscuras que están asociadas con el inicio del crecimiento de hongos. En contraste, las frutillas de los tratamientos 7 (5%CM,0,1%AEC), 8 (5%CM,0,2%AEC), y 10 (7%CM,0%AEC), al día 6 no tuvieron señales de deterioro, sin

embargo, las frutillas del tratamiento 8 se tornaron de color rojo intenso relacionado con el proceso de maduración de la fruta.

En el estudio de Chu et al. (2020) se evaluó el cambio en la apariencia de frutillas sin recubrimiento y la aplicación de recubrimientos con base en pululano puro y pululano combinado con aceite esencial de canela. Las frutillas sin recubrimiento y las muestras recubiertas con pululano puro mostraron señales de contaminación con mohos después de 6 días de almacenamiento, mientras que en las frutillas con pululano y aceite esencial de canela se mantuvo su tamaño y apariencia original. Igualmente, en la presente investigación las frutillas sin recubrimiento y las recubiertas solo con pectina presentaron señales de deterioro microbiológico a partir del sexto día de almacenamiento.

Al día 12 las frutillas sin recubrimiento mostraron un daño aproximado del 100% de superficie de la fruta, las frutillas con recubrimiento solo con base en pectina (T2) presentaron un daño del 75% y en las frutillas que contenían en el recubrimiento AEC (T7 y T8) no se evidenció daño fúngico visible. Adicionalmente, se pudo identificar que las muestras con CM hasta el sexto día mantuvieron una apariencia aceptable (T7, T8 y T10). No obstante, en las frutillas recubiertas con el T10 que no contenía AEC al día 9 ya se apreció crecimiento visible de hongos y confirma el efecto antifúngico del aceite.

Tabla 4. Cambios visuales y crecimiento fúngico en las frutillas

	DÍA 1	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12
Tratamiento 1 (Frutillas sin recubrimiento)				
Tratamiento 2 (recubrimiento solo pectina)				
Tratamiento 6 (5 % CM)				
Tratamiento 7 (5 % CM + 0,1 % AEC)				
Tratamiento 8 (5 % CM + 0,2 % AEC)				
Tratamiento 10 (7 % CM)				

5. Evaluación sensorial

Se evaluaron sensorialmente las frutillas sin recubrimiento y con recubrimiento (5%CM y 0,1%AEC). No se identificaron diferencias significativas en el color y firmeza, pero si en el olor, sabor y aceptación global de los dos tratamientos (Anexo 11). Pese a que las frutillas con recubrimiento permanecieron almacenadas por 9 días, mantuvieron un color

que agradó a los jueces, es decir, la aplicación del recubrimiento contribuyó a que no haya cambios substanciales en la coloración de las frutillas que afecte al nivel de agrado de los jueces consumidores. La calificación promedio del color de las frutillas con y sin recubrimiento se ubicó entre las anclas “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho” (Figura 34) (Anexo 12).

En el olor, las frutillas con recubrimiento obtuvieron una calificación inferior (3,82) a la obtenida por las frutillas sin recubrimiento (4,22) ($p \leq 0.05$) (Anexo 13) y se ubicó dentro del rango de “no me gusta ni me disgusta” a “me gusta moderadamente” (Figura 34). A pesar de que la incorporación de AEC fue percibida por los jueces, se mantuvo dentro del rango positivo de la escala.

Al igual que en el olor, los tratamientos evaluados difirieron significativamente en el sabor (Anexo 11). Las frutillas con recubrimiento tras 9 días de almacenamiento obtuvieron una calificación más baja (3,35) que las frutillas frescas sin recubrimiento (4,34) ($p \leq 0.05$). Sin embargo, el nivel de agrado estuvo dentro del rango de “no me gusta ni me disgusta” a “me gusta moderadamente” (Figura 34) (Anexo 13). La aplicación del recubrimiento con AEC afectó el sabor, pero los consumidores no ubicaron su percepción en la zona negativa de la escala hedónica. Esta diferencia surge porque el AEC se mezcla con el sabor de la frutilla y distorsiona el sabor original lo que afectó el nivel de agrado. De acuerdo con otros estudios, los compuestos del aceite esencial afectan las rutas fisiológicas de las células vegetales y provocan estrés celular y cambios en la actividad enzimática que afecta el perfil del aroma que influye en el sabor (Perdones et al., 2012).

De acuerdo con Perdonés et al. (2012), la diferencia en la percepción del aroma y sabor no solo debe atribuirse a la presencia de compuestos del AEC, sino también al desarrollo diferente de los compuestos volátiles de la frutilla relacionado con las alteraciones fisiológicas del fruto. Martínez et al. (2018a) al evaluar un recubrimiento comestible de quitosano con aceite esencial de tomillo, también reportaron que los tratamientos con aceite esencial únicamente tuvieron mayor aceptación en los atributos de textura y color.

Uno de los cambios postcosecha de las frutillas es el ablandamiento del tejido provocado por la conversión de pectina insoluble en soluble que provoca cambios en la pared celular, y genera el ablandamiento de la fruta (Kahramanoğlu et al., 2022). No obstante, no se identificó diferencias significativas en la firmeza entre las frutillas sin recubrimiento y las recubiertas (Anexo 9 y 10), y sugiere que el recubrimiento logró modificar la atmósfera interna de la fruta, con reducción de la tasa de respiración y contribuyó a que el metabolismo sea más lento y frene los cambios relacionados con la firmeza (Treviño-Garza et al., 2015).

Referente a la aceptación general, las frutillas con recubrimientos obtuvieron una calificación significativamente menor (3,79), cercana al ancla “me gusta moderadamente” que las frutillas sin recubrimiento (4,51) ($p \leq 0,05$) (Figura 34) (Anexo 11). El sabor generado por el recubrimiento pudo haber influenciado en el puntaje más bajo de la aceptación global. En general el análisis sensorial mostró que la percepción de los jueces ubicó a las frutillas sin recubrimiento con 9 días de almacenamiento en la zona positiva de la escala o sea con condiciones aceptables para ser consumidas.

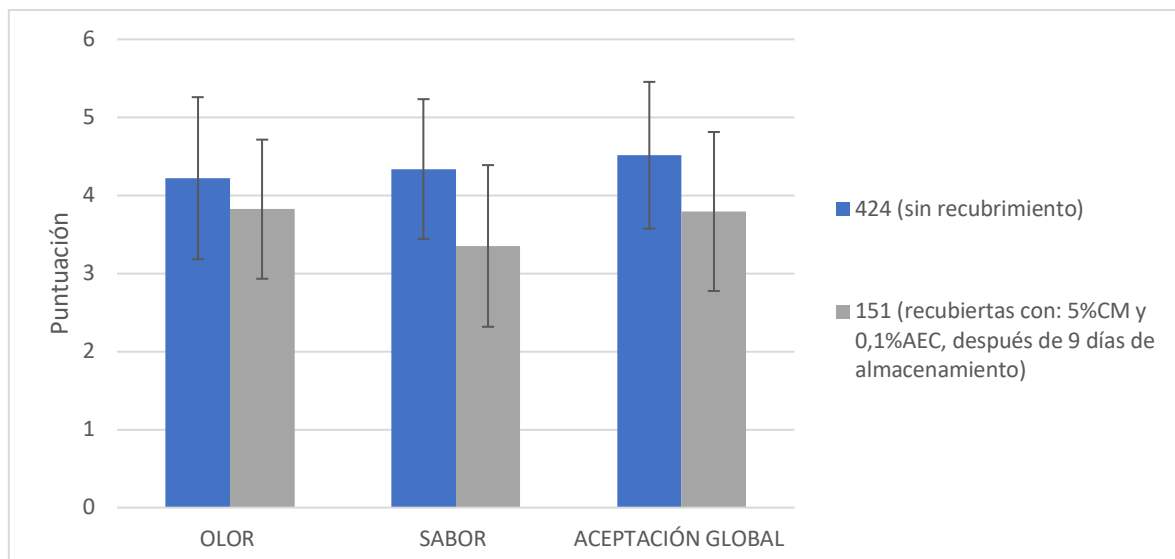


Figura 34. Nivel de agrado del olor, sabor y aceptación global de los tratamientos, por la prueba F ($p \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

El efecto de las distintas formulaciones de recubrimiento comestible aplicado en frutillas influyó en los cambios postcosecha y la vida útil de la frutilla. Una selección adecuada de la concentración de CM y de AEC es importante para que el recubrimiento proteja y retrase los cambios relacionados con el deterioro de la calidad.

Los diferentes tratamientos experimentales ejercieron un efecto positivo al reducir la pérdida de peso en comparación con las frutillas sin recubrimiento, se destacaron los tratamientos con 5% de CM que presentaron menor pérdida de peso, y se mantuvieron por debajo del límite de la especificación. La combinación de 5% de CM con 0,1 o 0,2% de AEC tuvo un efecto positivo en algunos parámetros fisicoquímicos; retardó el incremento de pH y sólidos solubles, previno la reducción acelerada de la acidez, al igual que, controló el aumento del índice de madurez. Adicionalmente, la concentración de 0,2% de AEC frenó el rápido incremento del pH y ayudó a mantener el contenido de antocianinas. Considerando todos los parámetros fisicoquímicos en conjunto, las concentraciones más efectivas fueron de 5% de CM junto con 0,1% o 0,2% AEC al mantener los parámetros dentro de especificaciones por más tiempo.

Desde el punto de vista microbiológico tanto las combinaciones de 5% de CM con 0,1% o 0,2% de AEC demostraron la acción antifúngica y antimicrobiana al retrasar el crecimiento de aerobios mesófilos, mohos y levaduras sin sobrepasar el límite máximo de microorganismos hasta el día 9 pero, la incorporación de 0,2% de AEC afectó la firmeza de la frutilla. En la evaluación sensorial la aplicación del recubrimiento con 5% de CM y 0,1%

de AEC tras 9 días de almacenamiento ayudó a mantener el color y la firmeza, pero si produjo cambios significativos en términos de olor, sabor y aceptabilidad en comparación con las frutillas frescas, no obstante, la calificación estuvo dentro del rango positivo de la escala.

Por lo tanto, un recubrimiento comestible con base en pectina junto con 0,1% de AEC reforzado con 5% de CM podría ser una alternativa eficaz para prolongar la vida útil de la frutilla de 5 días ha 9 días almacenadas a 4°C y mantendría las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y atributos sensoriales dentro de parámetros aceptables para comercialización y consumo.

ANEXOS

Anexo 1. Tratamientos.

Tratamiento	Agua (mL)	Pectina (g)	Celulosa microcristalina (g)	Aceite esencial de canela (mL)
T1 (sin recubrimiento)	0	0	0	0
T2	100	1	0	0
T3	100	1	0	0,1
T4	100	1	0	0,2
T5	100	1	0	0,3
T6	100	1	0,05	0
T7	100	1	0,05	0,1
T8	100	1	0,05	0,2
T9	100	1	0,05	0,3
T10	100	1	0,07	0
T11	100	1	0,07	0,1
T12	100	1	0,07	0,2
T13	100	1	0,07	0,3

Tratamientos 2 hasta el 13, tuvieron una concentración constante de tween 80 (0,2% v/v respecto al volumen del aceite esencial) y glicerol (0,3%).

Anexo 2. Cuestionario para prueba de nivel de agrado, escala hedónica de 5 puntos.

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre: _____

Fecha: _____

Género: M () F ()

Edad: _____ años

Frente a usted se presentan dos muestras codificadas de frutillas. Por favor, observe y pruebe las muestras de izquierda a derecha. Marque con una X la respuesta que mejor defina su nivel de agrado con respecto a cada atributo. Utilice agua y galletas entre cada muestra para limpiar el paladar. Espere 30 segundos antes de evaluar la segunda muestra.

Código de muestra: 151					
Escala					
Atributos	1:Me disgusta mucho	2: Me disgusta moderadamente	3:No me gusta ni me disgusta	4: Me gusta moderadamente	5:Me gusta mucho
Color					
Olor					
Sabor					
Firmeza					
Aceptación global					

Código de muestra: 424					
Escala					
Atributos	1:Me disgusta mucho	2: Me disgusta moderadamente	3:No me gusta ni me disgusta	4: Me gusta moderadamente	5:Me gusta mucho
Color					
Olor					
Sabor					
Firmeza					
Aceptación global					

Comentarios:

MUCHAS GRACIAS POR SU COOPERACIÓN.

Anexo 3. Consentimiento informado.**Consentimiento informado**

En la evaluación sensorial a realizar se degustarán 2 muestras de frutillas con y sin recubrimiento comestible. Comprendo que este producto contiene pectina y aceite esencial de canela, afirmo no presentar alergia a estos componentes.

Yo, _____ acepto participar en la evaluación sensorial.

He leído la información proporcionada. Consiento voluntariamente participar de esta investigación y entiendo que tengo derecho a retirarme de la misma si lo creo conveniente.

Fecha:

Firma:

C.I:

Anexo 4. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de la pérdida de peso (%) de los tratamientos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Total	25				
Cantidad de CM	2	0,01 ^{n.s.}	0,14 ^{n.s.}	17,67*	40,46*
Concentración de AE	3	0,03 ^{n.s.}	0,28 ^{n.s.}	2 ^{n.s.}	3,71 ^{n.s.}
Cantidad de CM * Concentración de AE	6	0,11 ^{n.s.}	1,27 ^{n.s.}	7,85 ^{n.s.}	19,34 ^{n.s.}
Tratamientos vs control	1	10*	88,31*	359,14*	878,94*
Error	13	0,17	0,8	3,07	10,23

* significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 5. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del pH de los tratamientos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Día 1	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Total	25					
Cantidad de CM	2	0,03 ^{n.s.}	0,03*	5,50E-04 ^{n.s.}	0,04*	2,60E-03 ^{n.s.}
Concentración de AE	3	0,01 ^{n.s.}	4,20E-03 ^{n.s.}	0,01 ^{n.s.}	0,04*	0,05*
Cantidad de CM * Concentración de AE	6	0,01 ^{n.s.}	1,90E-03 ^{n.s.}	0,0026 ^{n.s.}	0,01 ^{n.s.}	0,01*
Tratamientos vs control	1	1,00E-03 ^{n.s.}	8,70E-04 ^{n.s.}	0,01 ^{n.s.}	0,13*	0,26*
Error	13	0,01	0,01	0,01	3,40E-03	1,70E-03

* significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 6. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de grados brix de los tratamientos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Día 1	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Total	25					
Cantidad de CM	2	0,57 ^{n.s.}	0,35 ^{n.s.}	0,81 ^{n.s.}	0,88 ^{n.s.}	0,28 ^{n.s.}
Concentración de AE	3	0,29 ^{n.s.}	1,51 ^{n.s.}	2,29 ^{n.s.}	5,17*	11,99*
Cantidad de CM * Concentración de AE	6	0,44 ^{n.s.}	0,57 ^{n.s.}	0,6 ^{n.s.}	1,12 ^{n.s.}	2,05 ^{n.s.}
Tratamientos vs control	1	4,80E-03 ^{n.s.}	6,62*	17,89*	26,44*	40,71*
Error	13	0,24	0,5	1,09	1,34	0,86

* significativo al 5% de probabilidad por la prueba F

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 7. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de la acidez (% de ácido cítrico) de los tratamientos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Día 1	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Total	25					
Cantidad de CM	2	1,00E-02 ^{n.s.}	7,00E-02 ^{n.s.}	4,00E-02 ^{n.s.}	0,08*	3,00E-02 ^{n.s.}
Concentración de AE	3	1,00E-02 ^{n.s.}	3,00E-02 ^{n.s.}	3,00E-02 ^{n.s.}	0,05*	5,00E-02 ^{n.s.}
Cantidad de CM * Concentración de AE	6	1,00E-02 ^{n.s.}	3,00E-02 ^{n.s.}	1,00E-02 ^{n.s.}	0,02*	2,00E-02 ^{n.s.}
Tratamientos vs control	1	1,00E-02 ^{n.s.}	3,00E-02 ^{n.s.}	4,60E-05 ^{n.s.}	0,06*	0,11*
Error	13	4,00E-02	4,00E-02	1,00E-02	1,00E-02	2,00E-02

* significativo al 5% de probabilidad por la prueba F

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 8. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del índice de madurez de los tratamientos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Día 1	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Total	25					
Cantidad de CM	2	0,95 ^{n.s.}	6,35 ^{n.s.}	16,22*	37,46*	5,15 ^{n.s.}
Concentración de AEC	3	0,40 ^{n.s.}	1,04 ^{n.s.}	3,48 ^{n.s.}	4,45 ^{n.s.}	5,66 ^{n.s.}
Cantidad de CM * Concentración de AEC	6	0,59 ^{n.s.}	3,08 ^{n.s.}	4,47*	1,44 ^{n.s.}	5,66 ^{n.s.}
Tratamientos vs control	1	0,06 ^{n.s.}	1,53 ^{n.s.}	24,43*	3,42 ^{n.s.}	3,65 ^{n.s.}
Error	13	1,21	2,03	1,97	2,08	2,29

* significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 9. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del contenido de antocianinas (mg de cianidina3-glucósido/100g) de los tratamientos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Día 1	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Total	25					
Cantidad de CM	2	6,88 ^{n.s.}	34,23 ^{n.s.}	45,23 ^{n.s.}	97,62 ^{n.s.}	76,69 ^{n.s.}
Concentración de AE	3	27,65 ^{n.s.}	16,09 ^{n.s.}	23,94 ^{n.s.}	213,31*	366,84*
Cantidad de CM * Concentración de AE	6	55,9*	62,81*	103,08*	79,6 ^{n.s.}	115,1 ^{n.s.}
Tratamientos vs control	1	55,02 ^{n.s.}	184,37*	75,79 ^{n.s.}	64,63 ^{n.s.}	111,84*
Error	13	13,67	17,9	18,66	33,1	49,48

* significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 10. Ponderación de los tratamientos.

VARIABLES DE RESPUESTA	DÍAS DE ANÁLISIS	TRATAMIENTOS												
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Índice de madurez (°Brix/% ácido cítrico)	DÍA 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 3	6	6	6	0	0	6	6	6	6	0	6	0	0
	DÍA 6	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0
	DÍA 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	DÍA 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 3	0	5	5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5	5
	DÍA 9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	DÍA 12	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5
Pérdida de peso (%)	DÍA 3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	DÍA 6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	DÍA 9	4	4	4	0	4	4	4	4	4	0	4	0	4
	DÍA 12	4	0	4	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0
	DÍA 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidez Titulable (% de ácido cítrico)	DÍA 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 6	3	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0
	DÍA 9	0	3	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0
	DÍA 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos solubles	DÍA 3	0	0	0	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0
	DÍA 6	0	2	2	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0
	DÍA 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DÍA 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Contenido de antocianinas (mg de cianidina3-glucósido/100g)	DÍA 3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	DÍA 6	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
	DÍA 9	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0
	DÍA 12	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
	PUNTAJE TOTAL DE CADA TRATAMIENTO		44	43	43	33	39	54	55	44	31	29	24	27

Anexo 11. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de color, olor, sabor, firmeza y aceptación global de los tratamientos T7(5%CM; 0,1%AEC) y T1(sin recubrimiento).

Fuentes de variación	Grados de libertad	CM				
		Color	Olor	Sabor	Firmeza	Aceptación global
Total	135					
Tratamientos	1	0,03 ^{n.s}	5,36*	33,01*	0,89 ^{n.s}	17,65*
Bloques	67	1,02 ^{n.s}	1,08 ^{n.s}	1,18*	1,01*	0,90*
Error	67	0,85	0,79	0,74	0,62	0,51

*significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

^{n.s.} no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

Anexo 12. Nivel de agrado del color y firmeza de los tratamientos.

Tratamientos	Color*	Firmeza*
424. (sin recubrimiento)	4,24±1,04	4,46±0,87
151 (recubiertas con: 5%CM y 0,1%AEC, después de 9 días de almacenamiento)	4,26±0,89	4,29±0,93

*Medias ± DS

Anexo 13. Nivel de agrado del olor, sabor y aceptación global de los tratamientos.

Tratamientos	Olor*	Sabor*	Aceptación global*
424 (sin recubrimiento)	4,22±0,9a	4,34±0,94a	4,51±0,8a
151 (recubiertas con: 5%CM y 0,1%AEC, después de 9 días de almacenamiento)	3,82±1,04b	3,35±1,02b	3,79±0,87b

*Medias ± DS

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$), por la prueba F.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aamer, R. A., Amin, W. A., & Attia, R. S. (2021). Enhancement of color stability in strawberry nectar during storage. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(2), 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2021.08.003>
- Abdi, S., Roein, Z., Erfanimoghadam, J., & Aziznia, S. (2017a). Application of pectin coating containing essential oil for increasing quality of strawberry fruit. *Journal of Postharvest Technology*, 05(4), 83-94. <http://www.jpht.info>
- Abdi, S., Roein, Z., Erfanimoghadam, J., & Aziznia, S. (2017b). Application of pectin coating containing essential oil for increasing quality of strawberry fruit. *Journal of Postharvest Technology*, 05(4), 83-94. <http://www.jpht.info>
- ACSA. (2018). *Medidas que deben tenerse en cuenta para el lavado de frutas y hortalizas que se consumen crudas. El uso del hipoclorito de sodio*. https://acsa.gencat.cat/web/.content/_Publicacions/Informes-tecnics/comite_cientific_assessor/publis/Mesures-rentat-fruita-verdura-Hipoclorit-sodi/Desinfeccion-de-frutas-y-hortalizas.-Els-uso-del-hipoclorito-sodico-rev.-0.pdf
- Adjouman, Y., Charlemagne, N., Koassi, K., Tetchi, F., Amani, N., & Sindic, M. (2018, marzo 1). *Effect of Edible Coating based on improved Cassava Starch on Post-Harvest quality of fresh Tomatoes (solanum lycopersicum l.)*. International Journal of Nutritional Science and Food Technology . https://www.researchgate.net/publication/335839087_Effect_of_Edible_Coating_base_d_on_improved_Cassava_Starch_on_Post-Harvest_quality_of_fresh_Tomatoes_solanum_lycopersicum_l
- Agapito-Ocampo, A. R., Amaro-Guadarrama, B., Díaz-Godínez, G., Acosta-Urdapilleta, M. de L., Aguilar-Marcelino, L., García-Hernández, E., & Téllez-Téllez, M. (2021). Edible coatings for strawberry based on extracellular compounds of *Humphreya coffeata*. *BioResources*, 16(3), 5556-5573. <https://doi.org/10.15376/BIORES.16.3.5556-5573>
- Aitboulahsen, M., Zantar, S., Laglaoui, A., Chairi, H., Arakrak, A., Bakkali, M., & Zerrouk, M. H. (2018). Gelatin-Based Edible Coating Combined with Mentha pulegium Essential Oil as Bioactive Packaging for Strawberries. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8408915>
- Akhtar, I., & Rab, A. (2015). Effect of fruit ripening stages on strawberry (*Fragaria x ananassa*. Duch) fruit quality for fresh consumption. *Journal of Agricultural Research*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2017000041>
- Alcántara González, M. de L. (2009). *ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS FÍSICOS Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA FRESA DURANTE EL MANEJO POSCOSECHA Y EL TRANSPORTE SIMULADO* [Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/6473/tesisUPV3131.pdf>
- Ali, L. M., Ahmed, A. E. A. E., Hasan, H. E., Suliman, A. E. E., & Saleh, S. S. (2022). Quality characteristics of strawberry fruit following a combined treatment of laser sterilization and guava leaf-based chitosan nanoparticle coating. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2022 9:1, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/S40538-022-00343-X>
- Antunes, M., Gago, C., Cavaco, A., & Miguel, M. (2012). Edible Coatings Enriched with Essential Oils and their Compounds for Fresh and Fresh-cut Fruit . *Recent Patents on*

- Food, Nutrition & Agriculture*, 4, 114-122.
<https://core.ac.uk/download/pdf/61520573.pdf>
- AOAC, AOAC official method 942.15 acidity (titratable) of fruit products (2000).
[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25528/7/ANEXO 5 942.15.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25528/7/ANEXO_5_942.15.pdf)
- Augello, M. (2005). *Edible Microcrystalline cellulose and carrageenan coating composition*.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/bd/6c/57/c8b3d1c417fabf/WO2005092296A1.pdf>
- Badawy, M. E. I., Rabea, E. I., A. M. El-Nouby, M., Ismail, R. I. A., & Taktak, N. E. M. (2016). Strawberry Shelf Life, Composition, and Enzymes Activity in Response to Edible Chitosan Coatings. <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1219290>, 17(2), 117-136. <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1219290>
- Barragán Condori, M., Aro Aro, J. M., Huamaní Meléndez, V. J., & Cartagena Cutipa, R. (2018). Antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del mio - mio (Coriaria ruscifolia L). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(4), 419-428.
<https://doi.org/10.18271/RIA.2018.419>
- Barrazueta-Rojas, S. G., Falconí, J. F., Ojeda, M. N. N., Oleas-López, J. M., & Mendoza-Zurita, G. X. (2018). Physicochemical properties and application of edible coatings in strawberry *Fragaria × ananassa* preservation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(3), 8631-8641.
<https://doi.org/10.15446/RFNAM.V71N3.73548>
- Beltrán Alban, Á. J. (2010). *ESTUDIO DE LA VIDA ÚTIL DE FRESAS (Fragaria vesca) MEDIANTE TRATAMIENTO CON LUZ ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA UV-C* [Universidad Técnica de Ambato].
[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/858/1/AL434 Ref. 3280.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/858/1/AL434_Ref_3280.pdf)
- Benchikh, Y., Aissaoui, A., Allouch, R., & Mohellebi, N. (2021). Optimising anthocyanin extraction from strawberry fruits using response surface methodology and application in yoghurt as natural colorants and antioxidants. *Journal of food science and technology*, 58(5), 1987-1995. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04710-0>
- Bugawisan, E. (2021). *POSTHARVEST PERFORMANCE OF STRAWBERRY (Fragaria ananassa Duchesne)*. April, 1-22. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20191.38561>
- Cao, F., Guan, C., Dai, H., Li, X., & Zhang, Z. (2015). Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits. *Scientia Horticulturae*, 195, 183-187. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.018>
- Cardenas-Barboza, L. C., Paredes-Cordoba, A. C., Serna-Cock, L., Guancha-Chalapud, M., & Torres-Leon, C. (2021). Quality of Physalis peruviana fruits coated with pectin and pectin reinforced with nanocellulose from P. peruviana calyces. *Heliyon*, 7(9), e07988.
<https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07988>
- Carvajal de Pabón, L., Hadi-Yahia, C., Cartagena, R., Peláez, C., Gaviria, C., Bejamín, C., & Rojano, A. (2012). Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. *Revista Cubana de Plantas Medicinales.*, 37-53.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubplamed/cpm-2012/cpm121e.pdf>
- Chu, Y., Gao, C. C., Liu, X., Zhang, N., Xu, T., Feng, X., Yang, Y., Shen, X., & Tang, X. (2020). Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. *LWT*, 122, 109054.

- <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109054>
- Chun, J. P., & Huber, D. J. (1998). Polygalacturonase-Mediated Solubilization and Depolymerization of Pectic Polymers in Tomato Fruit Cell Walls : Regulation by pH and Ionic Conditions. *Plant Physiology*, *117*(4), 1293.
<https://doi.org/10.1104/PP.117.4.1293>
- Cortés Rodríguez, M., Villegas Yépez, C., Gil González, J. H., & Ortega-Toro, R. (2020). Effect of a multifunctional edible coating based on cassava starch on the shelf life of Andean blackberry. *Heliyon*, *6*(5), e03974.
<https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E03974>
- da Silva, I., Prado, N. S., de Melo, P. G., Arantes, D. C., Andrade, M. Z., Otaguro, H., & Pasquini, D. (2019). Edible coatings based on apple pectin, cellulose nanocrystals, and essential oil of lemongrass: Improving the quality and shelf life of strawberries (fragaria ananassa). *Journal of Renewable Materials*, *7*(1), 73-87.
<https://doi.org/10.32604/JRM.2019.00042>
- da Silva, P. P. M., de Oliveira, J., Biazotto, A. dos M., Parisi, M. M., da Glória, E. M., & Spoto, M. H. F. (2020). Essential oils from Eucalyptus staigeriana F. Muell. ex Bailey and Eucalyptus urograndis W. Hill ex Maiden associated to carboxymethylcellulose coating for the control of Botrytis cinerea Pers. Fr. and Rhizopus stolonifer (Ehrenb.:Fr.) Vuill. in strawberries. *Industrial Crops and Products*, *156*, 112884.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2020.112884>
- Dao, D. N., Le, P. H., Do, D. X., Dang, T. M. Q., Nguyen, S. K., & Nguyen, V. (2022). Pectin and cellulose extracted from coffee pulps and their potential in formulating biopolymer films. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *1*, 1-9.
<https://doi.org/10.1007/S13399-022-02339-X/TABLES/2>
- Defy-Janurianti, N. M., Supartha Utama, I. M., & Wayan Gunam, I. B. (2021). SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science) Colour and Quality of Strawberry Fruit (Fragaria x ananassa Duch.) at Different Levels of Maturity. *Sustainable Environment Agricultural Science*, *05*(1), 22-28.
<https://doi.org/10.22225/seas.5.1.3166.22-28>
- Del Valle Soazo, M. (2012). *PLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES PARA MANTENER LA CALIDAD DE FRUTILLAS CONGELADAS* [Universidad Nacional del Litoral].
<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/350/tesis.pdf?sequence=3>
- Dogan, N., & McHugh, T. H. (2007). Effects of Microcrystalline Cellulose on Functional Properties of Hydroxy Propyl Methyl Cellulose Microcomposite Films. *Journal of Food Science*, *72*(1), E016-E022. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2006.00237.X>
- Dong, F., & Wang, X. (2017). Effects of carboxymethyl cellulose incorporated with garlic essential oil composite coatings for improving quality of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, *104*, 821-826.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.06.091>
- Emragi, E., Kalita, D., & Jayanty, S. S. (2022). Effect of edible coating on physical and chemical properties of potato tubers under different storage conditions. *LWT*, *153*, 112580. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112580>
- Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J., & Walker, R. P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and

- factors affecting their contents – a review. *Revista Chapingo serie horticultura*, XXI(2), 97-128. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60941168001>
- FAO. (2022, diciembre 6). *Strawberries production indices*. <https://www.fao.org/faostat/en/#search/strawberries>
- Fernandes Pinheiro, D., Tadeu, J., De Resende, V., Constantino, L. V., Hata, F. T., Norika, N., Hata, Y., Brasil, S., & Lustosa, C. (2021). Physical, biochemical, and sensory properties of strawberries grown in high-altitude tropical climate Propriedades físicas, bioquímicas e sensoriais de morangueiros cultivados em clima tropical de altitude. *Physical, biochemical, and sensory properties of strawberries grown in high-altitude tropical climate*, 45. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145008221>
- Ferrer-Morocho, Y. (2020). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de almidón de cidrayota (Sechium edule) de la variedad virens levis en la calidad y vida útil de la fresa (Fragaria ananassa)* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31413/1/AL_751.pdf
- Flórez-Faura, R., & Mora-Cabeza, R. (2010). *Fresa (fragaria x ananassa Duch.) :producción y manejo poscosecha*. <https://repositorio.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13332>
- Foong, J. Y., Kahar, A. W. M., Razak, S., & Yusrina, M. D. (2021). Morphological analysis on crosslinked plasticized starch filled with microcrystalline cellulose. *AIP Conference Proceedings*, 2339(1), 020206. <https://doi.org/10.1063/5.0044829>
- García Figueroa, A., Ayala-Aponte, A., & Sánchez-Tamayo, M. I. (2019). Efecto de recubrimientos comestibles de Aloe vera y alginato de sodio sobre la calidad poscosecha de fresa. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/RUDCA.V22.N2.2019.1320>
- Garcia, L. C., Pereira, L. M., Deluca Sarantópoulos, C. I. G., & Dupas Hubinger, M. (2011). *Effect of Antimicrobial Starch Edible Coating on Shelf-Life of Fresh Strawberries*. <https://doi.org/10.1002/pts.987>
- García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (1998). Plasticized Starch-Based Coatings To Improve Strawberry (Fragaria × Ananassa) Quality and Stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3758-3767. <https://doi.org/10.1021/JF980014C>
- Gil-Giraldo, E. Y., Duque-Cifuentes, A. L., Quintero-Castaño, V. D., Gil-Giraldo, E. Y., Duque-Cifuentes, A. L., & Quintero-Castaño, V. D. (2018). Obtaining minimally processed strawberry (Fragaria x ananassa) products and their physicochemical, microbiological, and sensory characterization by using edible coatings. *DYNA*, 85(207), 183-191. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V85N207.72982>
- González-Chavarro, C. F., Pulido-Blanco, V. C., Pantoja-Espinosa, D. C., & Portilla-Fuentes, F. (2021). Efecto de un recubrimiento comestible comercial sobre las características fisicoquímicas de frutos de guayaba (Psidium guajava L.) bajo condiciones de almacenamiento. *Publicado Información Tecnológica*, 32(3), 69-78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000300069>
- González, M., Loroña, D., Condolo, L., & Almeida, M. (2021a). Evaluation of Cinnamon Essential Oil as a Preservative Agent in the Postharvest Stage of Strawberries (Fragaria Sp.). *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(1), 374-396. <https://doi.org/10.18502/espoch.v1i1.9572>
- González, M., Loroña, D., Condolo, L., & Almeida, M. (2021b). Evaluation of Cinnamon

- Essential Oil as a Preservative Agent in the Postharvest Stage of Strawberries (Fragaria Sp.). *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(1), 374–396-374–396. <https://doi.org/10.18502/ESPOCH.V1I1.9572>
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. C., & Antunes, M. D. C. (2015). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 51-60. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.06.019>
- Han, C., Lederer, C., McDaniel, M., & Zhao, Y. (2005). Sensory Evaluation of Fresh Strawberries (Fragaria ananassa) Coated with Chitosan-based Edible Coatings. *Journal of Food Science*, 70(3), S172-S178. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2005.TB07153.X>
- Hassan, H. S., El-Hefny, M., Ghoneim, I. M., Abd El-Lahot, M. S. R., Akrami, M., Al-Huqail, A. A., Ali, H. M., & Abd-Elkader, D. Y. (2022). Assessing the Use of Aloe vera Gel Alone and in Combination with Lemongrass Essential Oil as a Coating Material for Strawberry Fruits: HPLC and EDX Analyses. *Coatings 2022, Vol. 12, Page 489, 12(4)*, 489. <https://doi.org/10.3390/COATINGS12040489>
- Herrera-Acevedo, N. M. (2011). *EVALUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE CANELA Y DE NUEZ MOSCADA EN UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PARA LA CONSERVACIÓN DE FRUTOS DE MORA DE CASTILLA (Rubus glaucus Benth)* [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=ing_alimentos
- Horvitz, S. (2017). Postharvest Handling of Berries. En *Postharvest Handling*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69073>
- Hu, W., Sarengaowa, & Feng, K. (2022). Effect of Edible Coating on the Quality and Antioxidant Enzymatic Activity of Postharvest Sweet Cherry (Prunus avium L.) during Storage. *Coatings*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/coatings12050581>
- ICONTEC. (2018). *Normas técnica Colombiana NTC 4103*. <https://es.calameo.com/books/004339121cb3d29d9e010>
- INEN. (2008). *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y Levaduras viables*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1529-10.pdf>
- INEN. (2013a). *CONTROL MICROBIOLÓGICO DE LOS ALIMENTOS*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1529-10-1.pdf
- INEN. (2013b). *Productos vegetales y de frutas-Determinación de pH* (NTE INEN:ISO 1842:2013). Norma Técnica Ecuatoriana. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/nextcloud/s/HMG395ZJ6PanP9x>
- Jokar, A., Barzegar, H., Maftoon Azad, N., & Shahamirian, M. (2021a). Effects of cinnamon essential oil and Persian gum on preservation of pomegranate arils. *Food Science & Nutrition*, 9(5), 2585. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2213>
- Jokar, A., Barzegar, H., Maftoon Azad, N., & Shahamirian, M. (2021b). Effects of cinnamon essential oil and Persian gum on preservation of pomegranate arils. *Food Science and Nutrition*, 9(5), 2585-2596. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2213>
- Kahramanoğlu, İ., Bahadırlı, N. P., Okatan, V., & Wan, C. (Craig). (2022). Impacts of edible coatings enriched with laurel essential oil on the storage life of strawberry ‘Camarosa’ fruits. *Bragantia*, 81. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210221>
- Kalt, W., Prange, R. K., Lidsterl, P. D., Lidster, P. D., Branch, R., Carling Building, J.,

- Ave, C., Ottawa, C., & Kia, O. C. (2011). Postharvest color development of strawberries: Influence of maturity, temperature and light. <https://doi.org/10.4141/cjps93-074>, 73(2), 541-548. <https://doi.org/10.4141/CJPS93-074>
- Khan, I., Tango, C. N., Chelliah, R., & Oh, D. H. (2019). Development of antimicrobial edible coating based on modified chitosan for the improvement of strawberries shelf life. *Food Science and Biotechnology*, 28(4), 1257. <https://doi.org/10.1007/S10068-018-00554-9>
- Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS Journal*, 23, 17-23. <https://doi.org/10.1016/J.NFS.2021.02.003>
- Kong, I., Degraeve, P., & Pui, L. P. (2022). Polysaccharide-Based Edible Films Incorporated with Essential Oil Nanoemulsions: Physico-Chemical, Mechanical Properties and Its Application in Food Preservation—A Review. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 555, 11(4), 555. <https://doi.org/10.3390/FOODS11040555>
- Kumar, R., Ghatak, A., Balodi, R., & Bhagat, A. (2018). Decay mechanism of postharvest pathogens and their management using non-chemical and biological approaches. *undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Decay-mechanism-of-postharvest-pathogens-and-their-Kumar-Ghatak/dac575156db0cc589b7efa21245bb08d8b9eebbc>
- Lázaro Rodas, C., Pereira da Silva, I., Amaral Toledo Coelho, V., Monteiro Guimarães Ferreira, D., de Souza, R. J., & Guedes de Carvalho, J. (2013). Propiedades químicas e índices de coloración externa de frutos de fresa cultivada bajo la fertirrigación con nitrógeno y potasio. *Idesia (Arica)*, 31(1), 53-58. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000100007>
- Li, B. J., Grierson, D., Shi, Y., & Chen, K. S. (2022). Roles of abscisic acid in regulating ripening and quality of strawberry, a model non-climacteric fruit. *Horticulture Research*, 9. <https://doi.org/10.1093/HR/UHAC089>
- Made, N., Janurianti, D., Made, I., Utama, S., Bagus, I., & Gunam, W. (2021). Colour and Quality of Strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch.) at Different Levels of Maturity. *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 5(1), 22-28. <https://doi.org/10.22225/SEAS.5.1.3166.22-28>
- Martínez, K., Ortiz, M., Albis, A., Castañeda, C. G. G., Valencia, M. E., & Tovar, C. D. G. (2018a). The Effect of Edible Chitosan Coatings Incorporated with *Thymus capitatus* Essential Oil on the Shelf-Life of Strawberry (*Fragaria x ananassa*) during Cold Storage. *Biomolecules* 2018, Vol. 8, Page 155, 8(4), 155. <https://doi.org/10.3390/BIOM8040155>
- Medina-Ruiz, D. (2015). *carga microbiana que generalmente tienen los alimentos es necesario* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11181/1/CD-6412.pdf>
- MINSA/DIGESA. (2003). *NORMA SANITARIA QUE ESTABLECE LOS CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS DE CALIDAD SANITARIA E INOCUIDAD PARA LOS ALIMENTOS Y BEBIDAS DE CONSUMO HUMANO CAPÍTULO I GENERALIDADES*. http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Proy_RM615-2003.pdf
- Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2015). The control of Botrytis fruit rot in strawberry using combined treatments of Chitosan with *Zataria multiflora* or

- Cinnamomum zeylanicum essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7441-7448. <https://doi.org/10.1007/S13197-015-1871-7/FIGURES/3>
- Molina-Hernández, J. B., Echeverri-Castro, A., Martínez-Correa, H. A., & Andrade-Mahecha, M. M. (2020). Edible coating based on achira starch containing garlic/oregano oils to extend the shelf life of doublecream cheese. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 73(1), 9099-9108. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.75234>
- Montero, T. M., Mollá, E. M., Esteban, R. M., & López-Andréu, F. J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(96\)00892-8](https://doi.org/10.1016/0304-4238(96)00892-8)
- Moreno Quintanilla, C., Katherin, A., Aldana, S., & Quintanilla, M. (2020). *Citación recomendada* [Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentoshttps://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/720
- Moshiur Rahman, M. (2016). DETERMINATION OF MATURITY INDICES OF STRAWBERRY IN DHAKA, BANGLADESH. *Bangladesh J. Bot.*, 45(5), 1127-1134. [https://www.bdbotsociety.org/public/article/2016 December/22.pdf](https://www.bdbotsociety.org/public/article/2016%20December/22.pdf)
- Mousavi, S. R., Rahmati-Joneidabad, M., & Noshad, M. (2021). Effect of chia seed mucilage/bacterial cellulose edible coating on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberries during cold storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 618-623. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.08.213>
- Nadim, Z., Ahmadi, E., Sarikhani, H., & Amiri Chayjan, R. (2015). Effect of Methylcellulose-Based Edible Coating on Strawberry Fruit's Quality Maintenance During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(1), 80-90. <https://doi.org/10.1111/JFPP.12227>
- Nguyen, V. T., & Nguyen, H. V. (2021). Postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) coated with calcium and nano-chitosan as affected by different storage temperatures. *JOURNAL OF HORTICULTURE AND POSTHARVEST RESEARCH*, 2021(4), 413-426. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2021.4106.1194>
- Nunes, M. C., Brecht, J. K., Morais, A. M. M. B., & Sargent, S. A. (2006). Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(2), 180-190. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2314>
- Othman, S. H., Majid, N. A., Tawakkal, I. S. M. A., Basha, R. K., Nordin, N., & Shapi'i, R. A. (2019). Tapioca starch films reinforced with microcrystalline cellulose for potential food packaging application. *Food Science and Technology*, 39(3), 605-612. <https://doi.org/10.1590/FST.36017>
- Panou, A. A., Akrida-Demertzi, K., Demertzis, P., & Riganakos, K. A. (2021). Effect of Gaseous Ozone and Heat Treatment on Quality and Shelf Life of Fresh Strawberries during Cold Storage. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>, 21(1), 218-231. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>
- Pazmiño Quiroga, J. A. (2019). *Efecto del recubrimiento comestible de tres concentraciones de colágeno en la conservación de fresa (Fragaria ananassa Weston)*. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18509/1/T-UCE-0004-CAG-083.pdf>
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest*

- Biology and Technology*, 70, 32-41.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2012.04.002>
- Pérez-Velastegui, J., & Zurita-Tinizaray, J. (2019). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SÁBILA (Xanthorrhoeaceae) Y CERA CARNAUBA (Copernicia prunifera) COMO RECUBRIMIENTO PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LA FRUTILLA (Fragaria xananassa)* [Universidad San Francisco de Quito].
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/9101/1/129285-125622.pdf>
- Perkins-Veazie, P. (2010). Growth and Ripening of Strawberry Fruit. *Horticultural Reviews*, 267-297. <https://doi.org/10.1002/9780470650585.CH8>
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., & Scortichini, M. (2015). Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, 4(4), 501-523. <https://doi.org/10.3390/FOODS4040501>
- Pieniazek, F., & Messina, V. (2018). Texture Analysis of Freeze Dried Banana Applying Scanning Electron Microscopy Combined with Image Analysis Techniques. *ETP International Journal of Food Engineering*, 127-131.
<https://doi.org/10.18178/IJFE.4.2.127-131>
- Pizato, S., Sebastian Vega-Herrera, S., Chevalier, R. C., Pinedo, R. A., Renzo Cortez-Vega, W., & Alberti, A. (2022). Impact of Chitosan Coatings Enriched with Clove Essential Oil on Quality of Minimally Processed Strawberries. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210278>
- Pott, D. M., de Abreu e Lima, F., Soria, C., Willmitzer, L., Fernie, A. R., Nikoloski, Z., Osorio, S., & Vallarino, J. G. (2020). Metabolic reconfiguration of strawberry physiology in response to postharvest practices. *Food Chemistry*, 321, 126747.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126747>
- Rahimi, B., Shankarappa, T., Sahel, N., & Patil, S. (2019, junio). (PDF) Effective Edible Coatings on Control of Microbial Growth in Strawberry Fruits. *Indian Journal of Ecology*.
https://www.researchgate.net/publication/334130567_Effective_Edible_Coatings_on_Control_of_Microbial_Growth_in_Strawberry_Fruits
- Rahman, M. M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M. R., Sarker, B. C., & Khurshid Alam, M. (2016). Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 28-37. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2014.05.002>
- Rico-Molina, D., Aparicio-Ozores, G., Dorantes-Álvarez, L., & Hernández-Sánchez, H. (2012). Antimicrobial activity of cinnamate-eugenol: Synergistic potential, evidence of efflux pumps and amino acid effects. *American Journal of Food Technology*, 7(5), 289-300. <https://doi.org/10.3923/AJFT.2012.289.300>
- Rosas-Saito, G. (2021). *Microscopía electrónica de barrido y microanálisis de elementos del Clúster Científico y Tecnológico BioMimic®*. Instituto de Ecología A.C.
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/723-microscopia-electronica-de-barrido-y-microanalisis-de-elementos-del-cluster-cientifico-y-tecnologico-biomimic>
- Salama, H. E., Elsoholy, M. G., Abdel Aziz, M. S., & Saad, G. R. (2021). Optimization of the water vapor permeability of starch/alginate edible system reinforced with

- microcrystalline cellulose for the shelf-life extension of green capsicums. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(8), 4625-4633.
<https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.66683.3434>
- Šernaitė, L., Rasiukevičiūtė, N., & Valiuškaitė, A. (2020). The Extracts of Cinnamon and Clove as Potential Biofungicides against Strawberry Grey Mould. *Plants (Basel, Switzerland)*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/PLANTS9050613>
- Shahbazi, Y. (2018). Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 264-272.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.01.186>
- Shamaila, M., D., P. W., & Skura, B. J. (1992). Sensory Evaluation of Strawberry Fruit Stored under Modified Atmosphere Packaging (MAP) by Quantitative Descriptive Analysis. *Journal of Food Science*, 57(5), 1168-1184. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.1992.TB11290.X>
- Sharma, L., Saini, C. S., Sharma, H. K., & Sandhu, K. S. (2019). Biocomposite edible coatings based on cross linked-sesame protein and mango puree for the shelf life stability of fresh-cut mango fruit. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1), e12938. <https://doi.org/10.1111/JFPE.12938>
- Shehata, S. A., Abdeldaym, E. A., Ali, M. R., Mohamed, R. M., Bob, R. I., & Abdelgawad, K. F. (2020). Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical Quality of Strawberries during Cold Storage. *Agronomy*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10101466>
- Shin, Y., Liu, R. H., Nock, J. F., Holliday, D., & Watkins, C. B. (2007). Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 349-357. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2007.03.007>
- Shirzad, H., Alirezalu, A., Alirezalu, K., Yaghoubi, M., Ghorbani, B., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2021). Effect of aloysia citrodora essential oil on biochemicals, antioxidant characteristics, and shelf life of strawberry fruit during storage. *Metabolites*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/metabo11050256>
- Siburian, P. W., Falah, M. A. F., & Mangunwikarta, J. (2021a). Alginate-Based Edible Coatings Enriched with Cinnamon Essential Oil Extend Storability and Maintain the Quality of Strawberries under Tropical Condition. *PLANTA TROPIKA: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)*, 9(1), 58-70.
<https://doi.org/10.18196/pt.v9i1.10368>
- Siburian, P. W., Falah, M. A. F., & Mangunwikarta, J. (2021b). Alginate-Based Edible Coatings Enriched with Cinnamon Essential Oil Extend Storability and Maintain the Quality of Strawberries under Tropical Condition. *PLANTA TROPIKA: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)*, 9(1), 58-70.
<https://doi.org/10.18196/pt.v9i1.10368>
- Siripatrawan, U. (2016). Active food packaging from chitosan incorporated with plant polyphenols. *Novel Approaches of Nanotechnology in Food*, 465-507.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804308-0.00014-5>
- Suriati, L., Ni Made Ayu Suardani, S., & Bria, W. H. (2021). Edible Coating of Aloe Gel for Maintain Quality of Strawberry Fruit during Storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 709(1). <https://doi.org/10.1088/1755->

1315/709/1/012029

- Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G. K., Zhai, X., & Mariod, A. A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, *42*(3), e12527. <https://doi.org/10.1111/JFBC.12527>
- Treviño-Garza, M. Z., García, S., Flores-González, M. del S., & Arévalo-Niño, K. (2015). Edible Active Coatings Based on Pectin, Pullulan, and Chitosan Increase Quality and Shelf Life of Strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of food science*, *80*(8), M1823-M1830. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12938>
- Valdés, A., Burgos, N., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2015). Natural pectin polysaccharides as edible coatings. *Coatings*, *5*(4), 865-886. <https://doi.org/10.3390/COATINGS5040865>
- Valenzuela, C., Tapia, C., López, L., Bunger, A., Escalona, V., & Abugoch, L. (2015). Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality. *EJBT*, *18*, 406-411. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.09.001>
- Vélez Bravo, K. (2015). *que ni el tratamiento 1, ni el tratamiento 13 fueron las formulaciones óptimas del recubrimiento que ayuden a mantener la acidez titulable dentro de parámetros aceptables*. [Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://core.ac.uk/download/pdf/157800224.pdf>
- Yang, C., Lu, J. H., Xu, M. T., Shi, X. C., Song, Z. W., Chen, T. M., Herrera-Balandrano, D. D., Zhang, Y. J., Laborda, P., Shahriar, M., & Wang, S. Y. (2022). Evaluation of chitosan coatings enriched with turmeric and green tea extracts on postharvest preservation of strawberries. *LWT*, *163*, 113551. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113551>
- Yousuf, B., Wu, S., & Siddiqui, M. W. (2021). Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce. *Trends in Food Science & Technology*, *108*, 245-257. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.01.016>