



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE FARMACIA

Programa de Magister en Ciencias Farmacéuticas

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES SALUDABLES DE *FRAGARIA x*
ANANASSA DUTCH. CV. CAMAROSA ALMACENADAS EN NUEVAS
PELÍCULAS ACTIVAS A BASE DE CÁSCARA DE CASTAÑA**

Tesis para optar al grado académico Magister en Ciencias Farmacéuticas

POR: ING. LAURA ISABEL HERBAS GOITIA

PROFESOR GUÍA: DR. VÍCTOR HAROLDO CAMPOS REQUENA

PROFESOR CO-GUÍA: DR. CRISTIAN EDUARDO ROGEL CASTILLO

Mayo 2024

Concepción, Chile

TABLA DE CONTENIDO

ABREVIATURAS	iv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Pérdidas vs. Desperdicio.....	4
2.2. Métodos de conservación	4
2.3. Envases	5
2.4. Materiales poliméricos	7
2.4.1. Clasificación de materiales poliméricos.....	10
2.5. Nuevas tendencias en envases	11
2.5.1. Polímeros de origen renovable y con capacidad de biodegradarse..	12
2.5.1.1. Ácido poliláctico (PLA).....	14
2.5.1.2. Alginato.....	16
2.6. Envases activos: una alternativa a los envases tradicionales.....	18
2.6.1. Aspectos regulatorios de los envases activos	21
2.7. Envases activos y el uso de compuestos activos obtenidos a partir de subproductos agroindustriales	23
2.7.1. Cáscara de castaña (<i>Castanea sativa</i> Mill.).....	24
2.8. Actualidad del uso de envases activos	27
2.8.1. Uso de envases activos en la extensión de la vida útil de frutillas....	28
3. HIPÓTESIS	31
4. OBJETIVOS.....	32
4.1. Objetivo General.....	32
4.2. Objetivos Específicos	32
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.1. Materiales y reactivos	33
5.2. Preparación de la cáscara de castaña	34
5.3. Preparación de las películas de alginato.....	35
5.4. Preparación de las películas de ácido poliláctico	36

5.5. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de frutillas (<i>Fragaria x ananassa</i> Dutch. cv. <i>Camarosa</i>) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña	37
5.5.1. Propiedades físicas.....	38
5.5.1.1. Pérdida de peso	38
5.5.1.2. CIELab y cromaticidad	39
5.5.1.3. Firmeza.....	39
5.5.2. Propiedades químicas.....	40
5.5.2.1. Preparación del extracto de frutilla para los análisis de CFT, DPPH, ABTS	40
5.5.2.2. Compuestos fenólicos totales (CFT)	40
5.5.2.3. Actividad antioxidante, método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) 41	41
5.5.2.4. Actividad antioxidante, método de 2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de di amonio (ABTS).....	42
5.5.2.5. Preparación del extracto de frutilla para el análisis del contenido de vitamina C.....	43
5.5.2.6. Determinación de vitamina C.....	43
5.6. Evaluación sensorial de frutillas (<i>Fragaria x ananassa</i> Dutch. cv. <i>Camarosa</i>) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña	45
5.6.1. Reclutamiento de participantes	45
5.6.2. Selección de participantes.....	46
5.6.2.1. Prueba de sabor.....	46
5.6.2.2. Prueba de color	47
5.6.2.3. Prueba de olor	48
5.6.3. Entrenamiento de participantes y selección de descriptores	48
5.6.4. Evaluación final.....	49
5.7. Análisis estadístico.....	50
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	51
6.1. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de frutillas (<i>Fragaria x ananassa</i> Dutch. cv. <i>Camarosa</i>) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña	51
6.1.1. Propiedades físicas.....	51
6.1.1.1. Pérdida de peso	51

6.1.1.2.	CIELab y cromaticidad	56
6.1.1.3.	Firmeza.....	62
6.1.2.	Propiedades químicas.....	67
6.1.2.1.	Compuestos fenólicos totales (CFT)	67
6.1.2.2.	Actividad antioxidante, método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) 71	71
6.1.2.3.	Actividad antioxidante, método de 2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de di amonio (ABTS).....	75
6.1.2.4.	Determinación de vitamina C.....	77
6.2.	Evaluación sensorial de frutillas (<i>Fragaria x ananassa</i> Dutch. cv. <i>Camarosa</i>) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña	81
6.2.1.	Reclutamiento de participantes	82
6.2.2.	Selección de participantes.....	82
6.2.3.	Entrenamiento de participantes.....	83
	Fuente: Elaboración en conjunto, sesiones de entrenamiento	84
6.2.4.	Evaluación final.....	84
7.	CONCLUSIONES.....	92
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	94
	ANEXOS.....	101

ABREVIATURAS

% p/v: Porcentaje peso volumen.

°C: Grados Celsius.

µg: Microgramos.

µL: Micro-litros.

µM: Micro-molar.

µm: Micrómetros.

µmol: Micro-moles.

ABTS: 2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de di amonio.

AE: Aceite esencial.

Alginato ECC10%: Películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña.

ANOVA: Análisis de varianza.

ATBC: Citrato de tributilo acetilado.

BHT: Butil hidroxitolueno.

C*: Cromaticidad.

CaCl₂: Cloruro de calcio.

CFT: Compuestos fenólicos totales.

CO: Monóxido de carbono.

CyTA: Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

DPPH: 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos.

FONDECYT: Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

g: Gramos.

GRAS: Generalmente reconocido como seguro.

h: Hora/Horas.

HPLC: Cromatografía líquida de alta eficiencia.

HR: Humedad relativa.

ISO: Organización Internacional de Normalización.

kg/cm²: kilogramo por centímetro cuadrado; unidad de presión.

mg: Miligramos.

min: Minutos.

mL: Mililitros.

mM: Mili-molar.

mm: Milímetros.

Na₂CO₃: Carbonato de sodio.

nm: Nanómetros.

p.a.: Para análisis.

P3HB: Poli(3-hidroxibutirato).

PA: Polímeros de almidón.

PCL: Policaprolactona.

PDA: Pérdida y desperdicio de alimentos.

PE: Polietileno.

PET: Polietileno tereftalato.

PHA: Poli(hidroxialcanoatos).

PHB: Polihidroxibutirato.

PLA CC10%: Películas de PLA con 10% de cáscara de castaña.

PLA: Ácido poliláctico.

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente.

PP: Polipropileno.

PS: Poli estireno.

PVC: Poli cloruro de vinilo.

rpm: Revoluciones por minuto.

Trolox: Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico.

UNE: Organismo de Normalización en España.

ΔE : Cambio de color.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los tipos de envases según el material de fabricación ..6	
Tabla 2 Diluciones para muestras de sabor47	
Tabla 3 Reactivos para la preparación de muestras de la prueba de color47	
Tabla 4 Sustancias de olor y sus concentraciones para pruebas de selección .48	
Tabla 5 Escala de evaluación para las características organolépticas de la frutilla49	
Tabla 6 Descriptores para la evaluación de las frutillas83	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción de plástico en el mundo en 2019 (en %)	9
Figura 2 Clasificación de polímeros de origen renovable y biodegradables.	13
Figura 3 Estructura molecular de PLA	14
Figura 4 Frutos de castaña (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	26
Figura 5 Frutillas (<i>Fragaria x ananassa</i> Dutch. cv. Camarosa.....	29

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Efecto de los tratamientos en el log (% pérdida de peso) de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)	54
Gráfico 2 Efecto de los tratamientos en el cambio de color de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3).....	58
Gráfico 3 Efecto de los tratamientos en cromaticidad de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3).....	62
Gráfico 4 Efecto de los tratamientos en la firmeza de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3).....	65
Gráfico 5 Efecto de los tratamientos en el contenido de Compuestos Fenólicos Totales de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)	69
Gráfico 6 Efecto de los tratamientos en la actividad antioxidante de frutillas según el método de DPPH. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)	74
Gráfico 7 Efecto de los tratamientos en la actividad antioxidante de frutillas según el método de ABTS. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)	76
Gráfico 8 Efecto de los tratamientos en el log (vitamina C) de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3).....	79
Gráfico 9 Efecto de los tratamientos en las características organolépticas de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 16)	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Afiche informativo	102
Anexo 2 Valores promedio del porcentaje de pérdida de peso [%]	103
Anexo 3 Valores promedio de cambio de color	104
Anexo 4 Valores promedio de cromaticidad.....	105
Anexo 5 Valores promedio de firmeza [kg/cm ²]	106
Anexo 6 Valores promedio de la cantidad de compuestos fenólicos totales [mg ác. gálico/g de fruta fresca]	107
Anexo 7 Valores promedio de la actividad antioxidante según método de DPPH [μmol Trolox/g de fruta fresca].....	108
Anexo 8 Valores promedio de la actividad antioxidante según método de ABTS [μmol Trolox/g de fruta fresca].....	109
Anexo 9 Valores promedio de la cantidad de vitamina C [mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca]	110
Anexo 10 Valores promedio de las características organolépticas.....	111
Anexo 11 Registro fotográfico.....	112

RESUMEN

Durante muchos años y hasta la actualidad, el transporte y distribución de frutas a los centros de comercio provocan un elevado deterioro en la calidad de estos alimentos frescos con repercusiones en la comercialización de los mismos; en este contexto, las frutillas han demostrado estar entre las frutas que sufren mayor susceptibilidad al daño en períodos de tiempo cortos, con pérdidas en las propiedades fisicoquímicas y un efecto negativo en la aceptabilidad por parte de los consumidores. Ante el incremento en las pérdidas de alimentos frescos, el uso de materiales poliméricos derivados del petróleo en el envasado de alimentos para mejorar y prolongar la vida útil de frutas ha traído consigo consecuencias medioambientales negativas que se buscan subsanar y reemplazar por medio del desarrollo de métodos de conservación que emplean materiales poliméricos biodegradables combinados con subproductos agroindustriales (envases activos). La presente investigación proporciona una visión sobre el uso de estos innovadores envases, específicamente películas activas a base de PLA con 10% de cáscara de castaña y alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña; por estudios previos se conoce que estas películas presentaron actividad antioxidante, por lo que, el interés se centró en evaluarlas con frutillas almacenadas durante catorce días en refrigeración. Los resultados obtenidos demostraron la conservación de la vida útil junto con las propiedades fisicoquímicas, saludables y la buena aceptabilidad de las frutillas, similar a las frutillas almacenadas con film comercial.

SUMMARY

For many years and until today, the transportation and distribution of fruits from farmers to the cities causes a high deterioration in the quality of these fresh foods with repercussions on their marketing; In this context, strawberries have been shown to be among the fruits that suffer the greatest susceptibility to damage in short periods of time, with losses in physicochemical properties and a negative effect on acceptability by consumers. Given the increase in fresh food losses, the use of polymeric materials derived from petroleum in food packaging to improve and prolong the shelf life of fruits has brought with it negative environmental consequences that are sought to be corrected and replaced through the development of methods conservation that use biodegradable polymeric materials combined with agro industrial by-products (active packaging). The present research provides insight into the use of these innovative packaging, specifically active films based on PLA with 10% chestnut shell and alginate with 10% chestnut shell extract; From previous studies it is known that these films presented antioxidant activity, therefore, the interest was focused on evaluating them with strawberries stored for fourteen days in refrigeration. The results obtained demonstrated the conservation of the shelf life along with the physicochemical, healthy properties and good acceptability of the strawberries, similar to strawberries stored with commercial film.

1. INTRODUCCIÓN

Cada año alrededor de 127 millones de toneladas de alimentos aptos para el consumo humano se pierden o se desperdician. De acuerdo con los datos otorgados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el día internacional de la concienciación sobre la pérdida y el desperdicio de alimentos (PDA), las frutas y las hortalizas frescas son los alimentos que más se desechan llegando a un 55% de pérdida de todo lo producido (Eguiller Recabarren, 2019). Chile no cuenta con cifras oficiales, pero según el informe del año 2021 sobre el índice de desperdicio de alimentos del Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA) se generaron 1,4 millones de toneladas de desperdicio de alimentos al año (Eguiller Recabarren, 2019). En este contexto, la frutilla (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) es el ejemplo de fruta que alcanza volúmenes altos de pérdidas y desperdicios. La frutilla es considerada como buena fuente de vitaminas y polifenoles que tiene muy limitada su comercialización y consumo precisamente por el corto tiempo de vida útil que presenta debido al alto grado de susceptibilidad a daños físicos y pérdida de atributos sensoriales posterior a la cosecha (Rafael E. González-Cuello, Lena B. Morón-Alzázar, Jaime Pérez-Mendoza, 2022).

El incremento de pérdidas y desperdicio principalmente de frutas ha motivado a buscar diversas formas para reducir esta problemática a través del uso de métodos de conservación que contribuyan a extender el tiempo de vida útil del alimento. Entre los diversos métodos de conservación empleados, tales como

congelación, deshidratación, fermentación, ahumado, uso de envases, entre otros, el uso de materiales poliméricos, particularmente plásticos tradicionales para el desarrollo de envases, ha sido la alternativa apta y elegida para conservar alimentos debido a su versatilidad, buena estabilidad física y mecánica. Sin embargo, actualmente además de entregar una solución a la problemática de la pérdida y desperdicio de alimentos, el uso de plásticos presenta aspectos negativos relacionados con el medio ambiente principalmente asociado su baja degradación y por ende su permanencia por largos períodos de tiempo en el medio ambiente (Eguiller Recabarren, 2019).

Paralelo al tema de la conservación, la industrialización de frutas y verduras se incrementa año tras año generando importantes volúmenes de subproductos agrícolas y forestales (cáscaras, hojas, frutos de menor calidad comparando con un producto estándar, entre otros) que van en ascenso y que muy poco se hace para evitar que se conviertan en residuos contaminantes. Un ejemplo de esta situación es la industrialización de la castaña (*Castanea sativa* Mill.), un fruto con campos extensos de producción en varias zonas de América, con gran valor nutricional y con un elevado público consumidor. Es un fruto que luego de ser procesado genera cáscara (interna y externa) considerada un problema medioambiental y a pesar de ser considerado un subproducto, esta cáscara presenta propiedades antioxidantes, pero que no son conocidas ni aprovechadas para beneficio industrial (Meiyi Hu, Xiaokuan Yang, Xuedong Chang, 2020)

(Jolanta Kowalonek, Natalia Stachowiak, Kinga Bolczak, Agnieszka Richert, 2023).

En la actualidad, la creciente necesidad y búsqueda de métodos alternativos y biodegradables que permitan extender la vida útil y mantener la calidad de los alimentos envasados, ha permitido el inicio de la investigación, el estudio y la creación de envases innovadores entre los cuales se encuentran los denominados envases activos. Lentamente, estos envases están siendo utilizados como alternativas a los plásticos tradicionales, cumpliendo con el fin de conservar los alimentos por un tiempo apropiado minimizando las pérdidas posteriores a la cosecha, teniendo propiedades mecánicas y de barrera adecuadas resultado de la combinación de la matriz polimérica biodegradable con subproductos agroindustriales, convirtiéndose en materiales alternativos y con bajo impacto en el medio ambiente.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de las frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) almacenadas en películas activas de ácido poliláctico (PLA) y alginato combinadas con cáscara de castaña y extracto de cáscara de castaña respectivamente, determinando los efectos en las propiedades fisicoquímicas de la fruta luego de un período de tiempo almacenadas en refrigeración, junto con evaluar la aceptabilidad de las mismas por parte de evaluadores entrenados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pérdidas vs. Desperdicio

En los últimos años el incremento en la pérdida o el desperdicio de alimentos ha motivado el incremento de investigaciones destinadas al estudio y desarrollo de alternativas que permitan disminuir esta problemática. En este sentido se entiende por “pérdida de alimentos” a la disminución de productos aptos para el consumo humano que ocurre en las etapas de producción, posterior a la cosecha, almacenamiento, procesamiento o embalaje. En cambio, el “desperdicio de alimentos” se refiere a la disminución de productos que ocurre al final de la cadena alimentaria, estando presente con mayor frecuencia debido al comportamiento de los vendedores y consumidores en la etapa de comercialización y consumo. En Chile, se desconoce la situación real y actual de las pérdidas y desperdicios de alimentos, por lo que la participación tanto del nivel gubernamental como de la industria con respecto a la obtención de datos en el contexto de las pérdidas y desperdicios de alimentos es importante, permitiendo de esta manera evaluar y avanzar significativamente en la implementación de ciertos métodos de conservación principalmente en frutas (Eguiller Recabarren, 2019).

2.2. Métodos de conservación

La conservación de los alimentos tiene como objetivo mantenerlos el máximo de tiempo disponibles para el consumo, eligiendo un método que sea apropiado o

se adapte mejor al alimento junto con garantizar la máxima vida útil y lograr los mínimos cambios en cuanto a las características organolépticas y nutricionales. Con relación a la necesidad de comercializar frutas manteniendo una buena calidad posterior a la cosecha, la utilización de diferentes métodos de conservación como el uso de bajas temperaturas, atmósferas modificadas e irradiación han sido estudiados hasta alcanzar en muchos casos la implementación en algunas frutas tales como: el melón, el mango, la uva, entre otros (Ana Carolina Almeida Miguel, Joao Ricardo Pecini Stein Dias, Silvana Albertini, Marta Helena Fillet Spoto, 2009). Pero a pesar de los esfuerzos realizados, la mayoría de estos métodos presentan inconvenientes relacionados principalmente con los elevados costos económicos relacionados a su implementación y los altos niveles energéticos que se necesitan provocando finalmente el deterioro del fruto en algunos casos de manera prematura (Rafael E. González-Cuello, Lena B. Morón-Alzázar, Jaime Pérez-Mendoza, 2022). En ese sentido, el método de conservación que emplea cierto tipo de envase ha sido y es una alternativa ampliamente utilizada debido a la facilidad de adquisición, la versatilidad de uso y la variedad de materiales que existen.

2.3. Envases

Los envases son recipientes que protegen de condiciones externas y conservan durante más tiempo a un alimento. Estos recipientes deben cumplir con estándares de calidad, ser materiales adecuados y aptos para estar en contacto

con alimentos, conservar su integridad y evitar la migración y posterior contaminación por algún componente del recipiente hacia el alimento.

Como se ha mencionado, los envases pueden ser fabricados a partir de distintos materiales, siempre considerando las necesidades y las características específicas que se requieren para cada tipo de alimento, que cumplan funciones que faciliten la conservación y el transporte de los mismos desde el momento de la cosecha hasta la comercialización y consumo. Existen muchos criterios posibles para poder clasificar a los envases, pero según las ventajas y desventajas propias de cada material, éstos se clasifican de acuerdo a lo mencionado en la Tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de los tipos de envases según el material de fabricación

Vidrio (transparente o ámbar)	Ventajas	Dureza, buena capacidad de conservación, facilidad para esterilizar, reciclable
	Desventajas	Fragilidad, ocasionalmente pesados
Materiales poliméricos (PET, PP)	Ventajas	Propiedades mecánicas favorables, rigidez con cierta flexibilidad, liviano, reciclable
	Desventajas	Evidencia de desgaste con el tiempo, dificultad para esterilizar, no biodegradable
Metal (aluminio)	Ventajas	Dureza, buena capacidad de conservación, resistente a temperaturas, liviano, reciclable

	Desventajas	Migración de algún componente del material al alimento
Otros materiales (plásticos biodegradables: PLA, mezclas de almidón, otros)	Ventajas	Liviano, biodegradable
	Desventajas	Propiedades mecánicas y de barrera con limitaciones

Fuente: Elaboración propia

En este contexto y a pesar de contar con una variedad de materiales para la fabricación de diversos tipos de envases, aún se trabaja en mejorar la calidad de éstos ya que no existe uno que presente únicamente ventajas, sino también inconvenientes.

2.4. Materiales poliméricos

En la actualidad los materiales poliméricos se relacionan estrechamente con los plásticos tradicionales, estos materiales provienen de fuentes petroquímicas y son considerados de gran valor debido al amplio uso diario que se les da relacionado a botellas, bolsas, recipientes de cocina, etc., por lo que su fabricación ha aumentado con el paso de los años junto con el incremento de la población a nivel mundial y la relación que existe con el consumo de estos materiales sobre todo en la conservación de alimentos. La aparición de los plásticos tradicionales tuvo lugar a partir del año 1839 y se fue desarrollando año tras año alcanzando en los últimos años un incremento en la producción y en el uso de los mismos debido a la versatilidad que presentan (Rojas Lema, 2022).

Esta expansión de uso se debe básicamente a las notables características que presentan:

- ✓ La facilidad de moldeo durante su producción.
- ✓ La fabricación en masa que permite disminuir los costos por volumen generado.
- ✓ Bajo peso.
- ✓ Buena durabilidad, estabilidad.
- ✓ Buenas propiedades de flexibilidad e impermeabilidad (aplicaciones como películas o “films” y envases más rígidos).
- ✓ Y en algunos casos transparencia o color, de acuerdo al uso al que está destinado.

Es importante mencionar que estas características hacen que este material sea atractivo y empleado en el sector de envases y embalajes, contribuyendo al incremento en la producción de plásticos.

Según datos de la asociación *Plastics Europe*, en 2019 la producción de plásticos en el mundo alcanzó los 368 millones de toneladas, nueve toneladas más que el año anterior, evidenciando el alto grado de demanda y consumo de éste material provocando indiscutiblemente la generación de cantidades considerables de desechos y desencadenando en contaminación de suelos, ríos e inclusive llegar a océanos, afectando la vida marina debido a que son materiales ligeros y pueden ser transportados fácilmente ya sea por el viento u otras condiciones ambientales (Statista Research Department, 2023). De acuerdo con la distribución de la

producción mundial de plásticos, en Asia se produjeron algo más de la mitad de los plásticos del mundo (51%) siendo China el país que generó más residuos plásticos de un solo uso en comparación con países de Norteamérica o Europa, tal como se observa en la Figura 1 (Mena Roa, 2021) (Muller, 2017).



Figura 1 Producción de plástico en el mundo en 2019 (en %) (Mena Roa, 2021)

Por lo tanto, si bien el uso de plásticos tradicionales específicamente como envases para la conservación de alimentos han facilitado la vida de las personas, también han traído consigo contaminación y daño al medio ambiente, sobre todo los desechos procedentes de envases y embalajes que constituyen cerca de un 48% del total del volumen de plásticos tradicionales producidos siendo el grupo que más desperdicio genera, básicamente porque provienen de productos de un solo uso, con una vida útil muy corta y que además no son biodegradables, es

decir, tras su uso serán desechos que no se puedan eliminar, lo cual genera gran cantidad de basura (Rojas Lema, 2022) (Hege Dysjaland, Izumi Sone, Estefanía Noriega Fernández, Morten Sivertsvik, Nusrat Sharmin, 2022).

2.4.1. Clasificación de materiales poliméricos

Los materiales poliméricos en general pueden ser clasificados en cuatro grupos. Uno de ellos considera los polímeros de origen no renovable (petróleo) y que además no son biodegradables; entre estos se encuentran la gran mayoría de plásticos tradicionales y de uso diario destacándose los principales y más populares: el polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), polícloruro de vinilo (PVC) y poli estireno (PS) (Rojas Lema, 2022).

Luego están los tres grupos que corresponden a los biopolímeros, los cuales presentan características más respetuosas con el medio ambiente, es decir con un impacto medioambiental reducido y que en algunos casos derivan de recursos renovables. El primero de ellos abarca los polímeros de origen petroquímico con capacidad de biodegradarse, por ejemplo, la policaprolactona (PCL) un poliéster alifático. El segundo grupo incluye los polímeros de origen renovable que no son susceptibles a biodegradación, por ejemplo, BioPET. Y finalmente, el tercer grupo considera los polímeros de origen renovable y con capacidad de biodegradarse, por ejemplo, los polímeros de almidón (PA), siendo este último uno de los grupos más prometedores para su desarrollo y uso en el área de los envases para alimentos (Rojas Lema, 2022).

2.5. Nuevas tendencias en envases

Con el paso de los años y en la constante búsqueda de soluciones que permitan reemplazar los plásticos tradicionales que provienen de la industria petroquímica (recursos no renovables) junto con promover la concienciación social, se han visibilizado nuevas opciones que minimizan la contaminación y son más respetuosas con el medio ambiente. Como se menciona en el párrafo anterior, los biopolímeros conocidos como bioplásticos, son considerados también materiales poliméricos que pueden ser utilizados para la fabricación de envases para alimentos. En los últimos años se han convertido en alternativas de alto interés en la industria ya que pueden derivar de fuentes naturales (renovables), pueden ser susceptibles a degradación (biodegradables) o presentar inclusive ambas características. Sin embargo, pese al esfuerzo de querer lograr un mayor volumen de producción de envases biodegradables y que éstos sean utilizados y comercializados en el mercado, la producción no superará el 1% comparado con la producción total de plásticos tradicionales. De acuerdo con (Statista Research Department, 2023) en 2022, el nivel de producción de bioplásticos alcanzó los 2,22 millones de toneladas, de los cuales alrededor de 695000 toneladas pertenecieron al sector de envases y embalajes. Esta producción estuvo distribuida principalmente en Asia con un 41,4% y Europa con casi 27% de la producción total (Hege Dysjaland, Izumi Sone, Estefanía Noriega Fernández, Morten Sivertsvik, Nusrat Sharmin, 2022). En general y de acuerdo a ciertas propiedades de este grupo de biopolímeros, se necesita que estos envases

innovadores se adapten a los requisitos de los alimentos mediante ciertas modificaciones tanto físicas como químicas (por ejemplo, mezcla del biopolímero con otros componentes como aceites esenciales o extractos de subproductos de frutas o verduras) ya que presentan limitaciones con respecto a las propiedades mecánicas y de barrera comparado con los plásticos tradicionales y esto se hace evidente cuando se evalúa la calidad del alimento envasado.

2.5.1. Polímeros de origen renovable y con capacidad de biodegradarse

Este grupo de polímeros es uno de los más prometedores, ya que se trata de polímeros obtenidos a partir de recursos naturales renovables y que a su vez pueden biodegradarse bajo condiciones controladas de compost logrando con eso la reducción del impacto medioambiental, aspecto que no ocurre con los plásticos tradicionales provocando un incremento notable en la contaminación.

A pesar de la atractiva capacidad biodegradable que tienen, estos biopolímeros presentan algunas limitaciones en cuanto a propiedades y costos, por lo que hoy en día la investigación de estos va más allá de su obtención y, por lo tanto, se busca además su modificación y la mejora de sus propiedades, todo esto con el fin de convertirlos en materiales más accesibles e incrementar su uso en la industria de alimentos. Cabe mencionar que este tipo de polímeros, aun con las limitaciones que presentan, han generado gran interés y acogida en el sector de envases y embalajes que tradicionalmente son elaborados a partir de plásticos que provienen de la industria petroquímica, dando paso a una nueva etapa que

busca la disminución del impacto medioambiental producto de la gran cantidad de desechos que se generan (Rojas Lema, 2022).

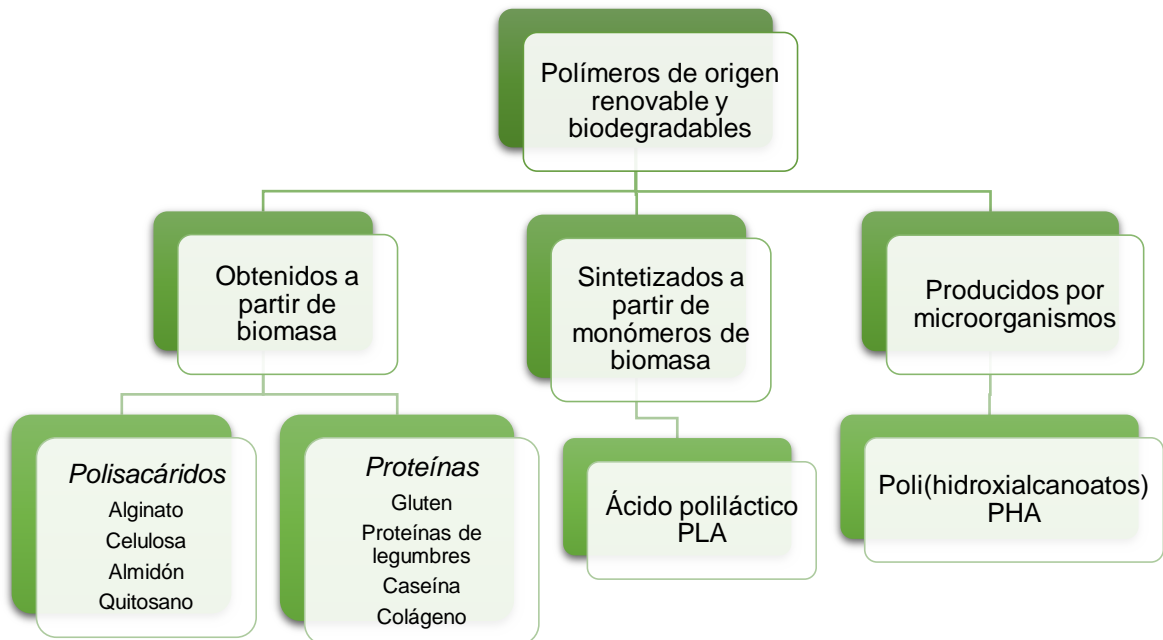


Figura 2 Clasificación de polímeros de origen renovable y biodegradables.

Modificado desde (Rojas Lema, 2022)

De acuerdo con la Figura 2, en la clasificación de los biopolímeros se ubica primero aquellos polímeros que se obtienen de biomasa como son los polisacáridos obtenidos a partir de plantas o algas (alginato, celulosa, almidón) y los obtenidos a partir de crustáceos (quitina), así como las proteínas de origen vegetal (gluten, proteína de legumbres) y origen animal (gelatina, caseína) por nombrar a los principales. El segundo está constituido por aquellos polímeros que se obtienen mediante síntesis convencional a partir de monómeros obtenidos de

biomasa como es el caso del ácido poliláctico (PLA) derivado de la láctida obtenida por la fermentación de compuestos ricos en almidón. Finalmente, el tercer grupo está formado por polímeros que se obtienen a partir de microorganismos, entre los más conocidos están los polihidroxicanoatos (PHA) cuyo principal ejemplo es el poli(3-hidroxiбутirato) (P3HB) (Muller, 2017).

2.5.1.1. Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico es uno de los biopolímeros comerciales de mayor consumo en la actualidad que deriva de materias primas renovables producidas a partir de ácido láctico. De acuerdo con registros de 2022, un aproximado del 21% de la producción global de bioplásticos estuvo elaborado a base de PLA (Statista Research Department, 2023).

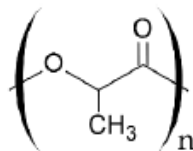


Figura 3 Estructura molecular de PLA (Muller, 2017)

El PLA es un polímero sintético termoplástico biodegradable, no tóxico, de gran rigidez y transparencia similar al PS o el PET, con un costo competitivo en el mercado que ha permitido con el paso de los años convertir a este biopolímero en uno de los materiales más explorados. Dentro de las características más importantes del PLA se encuentran:

- ✓ Buenas propiedades mecánicas, térmicas y de barrera ante sabores y olores.
- ✓ Facilidad de modificación estructural.
- ✓ Alta resistencia a grasas y aceites.

Características que convierten a este biopolímero en el material idóneo para usar en productos con envasado y embalaje con un ciclo de vida corto. Sin embargo, también presenta limitaciones relacionadas a:

- ✓ Fragilidad y la poca resistencia al impacto.
- ✓ Baja ductilidad propia del material.

No obstante, estas limitaciones se pueden solucionar gracias a la modificación estructural por medio de la incorporación y combinación con otros materiales al momento del procesamiento (Pazmiño, Campuzano, Marín, Coronel, & Salazar, 2022).

Actualmente el PLA es empleado en la elaboración de contenedores, recipientes para bebidas y ensaladas, botellas, películas flexibles para recubrimiento y blísteres; cuenta con la aprobación de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) para utilizar en aplicaciones que tengan contacto directo con alimentos (Muller, 2017). No olvidar que los envases obtenidos a partir de PLA cuentan con la ventaja de que al final de su ciclo de vida se pueden biodegradar bajo condiciones de compost. Por lo tanto, el desarrollo de materiales poliméricos a base de PLA constituye una opción viable debido a las

buenas características que se logran con su fabricación, además que se logran aprovechar recursos naturales renovables (Rojas Lema, 2022).

2.5.1.2. Alginato

El alginato es un polisacárido extraído de una variedad de algas pardas y que comprende el 40% del peso seco de las mismas. Es un polímero lineal, soluble en agua que posee diversas aplicaciones en la industria alimenticia, en la industria farmacéutica y en la industria cosmética debido a sus propiedades fisicoquímicas únicas y beneficiosas para la salud. Las aplicaciones que destacan de este biopolímero son (Decheng Bi, Xu Yang, Lijun Yao, Zhangli Hu, Hui Li, Xu Xu, Jun Lu, 2022) (Jolanta Kowalonek, Natalia Stachowiak, Kinga Bolczak, Agnieszka Richert, 2023):

- ✓ Capacidad de actuar como espesante.
- ✓ Actuar como estabilizante de emulsiones.
- ✓ Capacidad de producir geles alimentarios.
- ✓ Actuar como formador de películas, pero con características quebradizas.

Con respecto a la formación de películas, el alginato de sodio puede formar una matriz de gel corregida y más resistente en presencia de cationes polivalentes, siendo los iones de calcio (Ca^{2+}) los agentes gelificantes más efectivos. El gelificado se alcanza por medio de un proceso de intercambio iónico entre el alginato de sodio que alterna con los iones calcio presentes en la mezcla. La fijación del material polimérico va a depender de la cantidad de iones calcio presentes permitiendo mantener unidas las cadenas de alginato mediante la

formación de enlaces iónicos logrando alcanzar un gel con una estructura tridimensional más estable (Ana Carolina Almeida Miguel, Joao Ricardo Pecini Stein Dias, Silvana Albertini, Marta Helena Fillet Spoto, 2009). El alginato es relativamente insípido e inodoro permitiendo su aplicación en envases de alimentos. Tiene propiedades coloidales únicas permitiendo que el material polimérico formado sea fuerte, flexible y resistente al aceite y grasa, pero con poca resistencia al agua debido a su naturaleza hidrófila, además de una nula propiedad antioxidante inherente. Por lo tanto, este polisacárido generalmente se mezcla con otros biopolímeros para mejorar y corregir las deficiencias que se pueda presentar (Laylla Marques Coelho, Carla Faria, Daniel Madalena, Zlatina Genisheva, Joana T. Martins, António A. Vicente, Ana C. Pinheiro, 2022) (Hege Dysjaland, Izumi Sone, Estefanía Noriega Fernández, Morten Sivertsvik, Nusrat Sharmin, 2022).

Importante destacar que en los últimos años el gran interés en el estudio y desarrollo de nuevos materiales, sobre todo de aquellos polímeros que tengan propiedades biodegradables, se ha incrementado. La fabricación de envases donde la utilización de alginato es la base del proceso ha experimentado un avance acelerado alcanzado mejoras y facilidad en el manejo del polisacárido, así como una disminución en el costo de producción y un aumento en la accesibilidad.

2.6. Envases activos: una alternativa a los envases tradicionales

La conservación del medio ambiente está promovida principalmente por el estudio de formas para reducir los desechos de materiales poliméricos de lenta degradación que son fuente de contaminación, buscando el reemplazo de plásticos tradicionales por otros materiales obtenidos a partir de materias primas de origen agroindustrial y recursos renovables permitiendo reducir los niveles de contaminación.

Actualmente y con la fuerte sensibilización de la sociedad en relación con el medio ambiente han surgido nuevas líneas de investigación, siendo una de ellas la valorización de diversos residuos agroindustriales, que combinados con materiales poliméricos dan como resultado la generación de envases innovadores denominados envases activos. Esta combinación permite alcanzar cambios que están enfocados principalmente en la modificación de las propiedades físicas y mecánicas de los envases obtenidos gracias a los principios activos presentes en el residuo que es combinado con el polímero, favoreciendo en la protección y el mejoramiento de la calidad de los alimentos envasados incrementado su tiempo de vida útil por medio de:

- ✓ Adecuada barrera a gases.
- ✓ Protección a la luz ultravioleta.
- ✓ Capacidad antioxidante; detener o evitar las reacciones oxidativas permitiendo mantener la calidad de los productos envasados y evitar, por tanto, la decoloración o el deterioro de los productos).

- ✓ Capacidad anti-fúngica.

Los envases activos son un tipo de embalaje que interactúan con el alimento permitiendo en algunos casos la conservación y el mantenimiento de la frescura y la calidad del producto envasado por mayor tiempo, teniendo como base una matriz polimérica biodegradable que permite incorporar una variedad de compuestos activos naturales u otros ingredientes alcanzando así una mejora en alguna propiedad (Rojas Lema, 2022) (Andrade, M.A.; Barbosa, C.H.; Mariño-Cortegoso, S.; Barbosa-Pereira, L.; Sendón, R.; Buonocore, G.G.; Stanzione, M.; Coelho, A.; Correia, C.B.; Saraiva, M.; et al., 2023).

Para la elaboración de dichos envases a continuación se mencionan algunos de los métodos más utilizados (Muller, 2017):

- **Método por dispersión de compuestos activos en el polímero del envase:** permite incorporar compuestos activos mediante extrusión, prensado en caliente o fundición. La desventaja de la extrusión es el uso de alta temperatura y fuerza de corte que pueden reducir las actividades biológicas (antioxidantes y antimicrobiano) del compuesto activo y por consiguiente perjudicar la calidad del envase final.
- **Método de recubrimiento o inmersión:** permite recubrir el alimento con películas comestibles que a la vez son portadores de compuestos activos y están en contacto directo con la superficie del alimento. En este método los compuestos activos pueden llegar a estar expuestos a calor excesivo y perder sus

propiedades, pero son casos excepcionales. Aun así, el método tiene la ventaja de ser aplicado en cualquier etapa durante la cadena de suministro del alimento.

- **Método solvent casting:** técnica muy versátil basada en la agitación continua para alcanzar la disolución completa del biopolímero en un solvente sin la intervención de calor y que permite combinar la mezcla con compuestos activos sin que éstos sufran daño producto de una temperatura elevada durante el proceso de agitación o en el proceso de secado.

A pesar de contar con una variedad de métodos para la preparación de envases activos, existe un retraso en la implementación de estas técnicas por parte de la industria y está estrechamente relacionada con los consumidores y la preocupación de la industria alimentaria por la introducción de componentes activos en los envases debido a que los consumidores consideran a ciertos componentes como peligrosos (Rojas Lema, 2022). Por ejemplo, el uso de aceites esenciales requiere un control en las cantidades empleadas para evitar efectos adversos o posibles intoxicaciones entre los consumidores debido a la migración de alguna sustancia presente en el aceite esencial y que se encuentre con una concentración alta hacia el alimento (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023). Por lo tanto, antes de que la industria alimentaria pueda decidir invertir más en el tema y elegir la mejor técnica para obtener envases activos, se necesitan estudios en los mercados para evaluar el consumo y la respuesta de

los consumidores finales con respecto al uso o consumo de sustancias con compuestos activos beneficiosos para la salud en cantidades controladas, envases biodegradables y la combinación de ambos para obtener materiales poliméricos innovadores.

2.6.1. Aspectos regulatorios de los envases activos

Mientras que en Estados Unidos, Japón y Australia ya se están implementando el uso de envases activos para la conservación de fruta por medio de envases inhibidores conocidos por su capacidad absorbente de humedad gracias a la incorporación de materiales desecantes (gel de sílice, óxido de calcio, arcillas naturales) en bolsas tipo almohadas añadidas a bandejas o por medio de envases antioxidantes o antimicrobianos producto de la adición de compuestos activos con dichas propiedades, todos con resultados exitosos en la extensión de la vida útil permitiendo el monitoreo de la calidad y seguridad de los alimentos (Mena Roa, 2021). En Europa el desarrollo y la aplicación de sistemas de envasado activo son limitados. Esto se puede explicar por las restricciones legislativas y la falta de regulaciones específicas sobre el uso de este tipo de envases, el miedo y la resistencia que presentan los consumidores, la falta de conocimiento sobre el tema y la necesidad de conocer y tener en cuenta la eficacia y el impacto económico y medioambiental de los envases activos. Existen opiniones que sugieren implementar la legislación que se aplica a los envases tradicionales a los envases activos, logrando una regulación que permita exigir que los compuestos que se utilizan (material polimérico y compuestos

activos) estén registrados y clasificados como seguros (GRAS), conociendo el comportamiento con respecto a la migración del compuesto activo: el tipo, la cantidad y posibles efectos que tienen éstos sobre la salud del consumidor (Sara Martillanes, Javier Rocha-Pimienta, Manuel Cabrera-Bañegil, Daniel Martín-Vertedor, Jonathan Delgado-Adámez, 2017).

Por ejemplo y a pesar de las restricciones que existen, se sabe que el uso de compuestos fenólicos sobre todo a nivel alimentario se percibe como favorable por los consumidores lo que permite promover el estudio y posterior aplicación de estos compuestos en el área de envases activos logrando alcanzar avances tecnológicos altos y favorables. En este contexto, la FDA clasifica a los aceites esenciales y la mayoría de extractos naturales como GRAS. Sin embargo, existen limitaciones regulatorias sobre la ingesta diaria aceptada, por lo tanto, para que puedan usarse en productos alimenticios o estén en contacto con algún alimento se debe informar al consumidor la presencia del compuesto activo, los beneficios y contraindicaciones que tienen éstos sobre la salud. En Europa en cambio, los aceites esenciales están sujetos al Reglamento 1334/2008 sobre productos naturales y aromas, y los extractos de plantas naturales bajo la Directiva 2002/46/CE sobre suplementos alimenticios (Sara Martillanes, Javier Rocha-Pimienta, Manuel Cabrera-Bañegil, Daniel Martín-Vertedor, Jonathan Delgado-Adámez, 2017).

2.7. Envases activos y el uso de compuestos activos obtenidos a partir de subproductos agroindustriales

En la actualidad, los subproductos agroindustriales representan un problema para las industrias procesadoras de alimentos y bajo ciertas condiciones llegan a representar focos de contaminación por los procesos de descomposición que ocurren de forma natural debido a la acumulación en lugares no aptos para su disposición. Las industrias que buscan solucionar estos problemas asumen altos costos que no siempre convienen y pocas son las que deciden reutilizar estos subproductos o vender a terceros para que sean ellos quienes logren aprovechar las propiedades de éstos.

Según el interés y los resultados de análisis hechos por parte de algunos autores, se ha demostrado que estos residuos en su mayoría pieles, cáscaras y semillas de frutas y verduras cuando se someten a procesos de extracción como parte de tratamientos previos poseen en su estructura diferentes compuestos activos tales como compuestos fenólicos, flavonoides y componentes interesantes como proteínas, lignina, celulosa, entre otros (Changhong Liu, Tao Jin, Wei Liu, Wenzhuo Hao, Ling Yan, Lei Zheng, 2021) (Jolanta Kowalonek, Natalia Stachowiak, Kinga Bolczak, Agnieszka Richert, 2023) (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023). En este contexto, una alternativa de uso para estos

subproductos que contienen compuestos activos es el desarrollo de envases activos, matrices poliméricas que tienen incluidos compuestos activos que al interactuar con el alimento otorgan un efecto beneficioso en la vida útil del mismo. Con el desarrollo de estos envases se logra revalorizar y aprovechar los beneficios de los extractos obtenidos de subproductos, mejorar las limitaciones que tienen ciertos materiales poliméricos otorgando otras características adicionales tales como propiedades antioxidantes y/o antimicrobianas (Hege Dysjaland, Izumi Sone, Estefanía Noriega Fernández, Morten Sivertsvik, Nusrat Sharmin, 2022) (Rojas Lema, 2022).

Importante mencionar que el desarrollo de bioplásticos con la incorporación de subproductos agroindustriales en el proceso de producción se presenta como una alternativa científicamente elegante y ecológica para solucionar problemas como la acumulación masiva de desechos orgánicos e incentivar nuevas soluciones a la lenta degradación de plásticos convencionales basados en el petróleo.

2.7.1. Cáscara de castaña (*Castanea sativa* Mill.)

Tal como se mencionó en el punto anterior, la industria de alimentos es una de las grandes generadoras de residuos orgánicos debido a los elevados volúmenes de alimentos que se procesan a raíz de la alta demanda del público consumidor de productos procesados y listos para consumir. La cáscara de castaña es un ejemplo de subproducto agroindustrial que en muchos países no tiene valor

agregado y muchas industrias relacionadas con la comercialización del fruto no cuentan con un plan de aprovechamiento.

Los frutos de la castaña (*Castanea sativa* Mill.) (Figura 4) son considerados importantes recursos alimentarios y de gran importancia en varias zonas de América. La industrialización del fruto ha provocado y continúa generando grandes cantidades de desechos agrícolas desencadenando en problemas medioambientales. En el proceso de pelar las castañas se produce un residuo que está compuesto por las capas internas y externas (capa externa 8,9 – 13,5%; capa interna 6,3 – 10,1%, los porcentajes representan el peso de las cáscaras con respecto al peso del fruto entero) y que es gestionado principalmente por la incineración, utilizando las cáscaras como combustible en fábricas. Este tratamiento causa problemas ambientales debido a la producción de compuestos gaseosos tóxicos, algunos similares al monóxido de carbono (CO), hidrocarburos de cadenas largas, entre otros (J.C.M. Barreira, I.C.F.R. Ferreira, M.B.P.P. Oliveira, J.A. Pereira, 2010). Es así como se han buscado métodos eficaces para reevaluar y reutilizar la cáscara de castaña.



Figura 4 Frutos de castaña (*Castanea sativa* Mill.) (Diario, s.f.)

Hasta la fecha se han identificado muchas aplicaciones para la cáscara, siendo los más conocidos: el uso como adsorbente de metales pesados, el uso como adhesivo para madera y como materia prima para la producción de bioetanol (J.C.M. Barreira, I.C.F.R. Ferreira, M.B.P.P. Oliveira, J.A. Pereira, 2010). Además, se ha demostrado que la cáscara es una fuente rica en compuestos fenólicos estudiándose propiedades de actividad antioxidante, anticancerígena, antiinflamatoria y beneficios para la salud humana como antibacterianos, control de la diabetes, pérdida de peso, entre otros. Por lo tanto, el uso de la cáscara de castaña como fuente de compuestos activos no solo aumentaría el valor del fruto, sino también se lograría aprovechar un gran número de subproductos (Meiyi Hu, Xiaokuan Yang, Xuedong Chang, 2020).

2.8. Actualidad del uso de envases activos

De acuerdo a varias investigaciones realizadas en el área de los envases activos para uso alimentario, los resultados obtenidos de la combinación de un material polimérico biodegradable con un subproducto agroindustrial, como por ejemplo películas de alginato de sodio que contienen extracto de residuo de espárragos o aceites esenciales de orégano o citronela, han demostrado en su mayoría resultados positivos destacando el inicio del uso de una alternativa a los plásticos tradicionales y los cambios que existen con respecto a la conservación de frutas frescas debido a las modificaciones en las propiedades mecánicas y de barrera que presentan los nuevo envases (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023). Las investigaciones demuestran que los cambios alcanzados están relacionados principalmente con el aumento o disminución del coeficiente de permeabilidad y la relación que existe con la modificación de la tasa de respiración y la transparencia de las películas provocando en la mayoría de los casos la conservación del buen estado, de la firmeza y de las propiedades saludables de las frutas al menos por un par de días adicionales al promedio comparado con las frutas almacenadas en los envases activos blancos o envases plásticos tradicionales (Rafael E. González-Cuello, Stephanie Restrepo, Yellys Anaya, Luis Garcia-Zapateiro, 2022) (Changhong Liu, Tao Jin, Wei Liu, Wenzhuo Hao, Ling Yan, Lei Zheng, 2021).

2.8.1. Uso de envases activos en la extensión de la vida útil de frutillas

La frutilla (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) (Figura 5) es una fruta de consumo masivo y principalmente fresca debido a sus atributos sensoriales tales como: color (rojo brillante), textura (suave), aroma y sabor (dulce/ácido) característicos. Además, presenta nutrientes beneficiosos y atractivos para los consumidores convirtiéndola en la “reina de las frutas” por la gran cantidad de azúcares, pectinas, compuestos fenólicos (400-800 mg ác. gálico por 100 gramos de fruta fresca) (Carolina Parra-Palma, Luis Morales-Quintana, Patricio Ramos, 2020), actividad antioxidante (ABTS: 8-25,9 μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca (J. Mauricio Peñarrieta, J. Antonio Alvarado, Bjorn Bergenstahl, Bjorn Ákesson, 2009); DPPH: 466,1 μmol equivalentes de Trolox por 100 gramos de fruta fresca), alto contenido de vitamina C (28-51 mg ác. ascórbico por 100 g de fruta fresca) (Débora Fernandes Pinheiro, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leonel Vinicius Constantino, Fernando Teruhiko Hata, Natália Norika Yassunaka Hata, Sebastiao Brasil Campos Lustosa, 2021) y minerales. En Chile, específicamente en la Región Metropolitana y la Región del Maule, se encuentra alrededor del 85% de la producción de esta fruta siendo la variedad “*Camarosa*” la más importante debido a la presencia de los compuestos previamente mencionados y con características funcionales (Carolina Parra-Palma, Luis Morales-Quintana, Patricio Ramos, 2020). En este contexto, a las frutillas se les atribuye propiedades anti-carcinogénicas y de antienvjecimiento, considerándola una rica fuente de antioxidantes con alta capacidad para eliminar

los radicales libres (J. Mauricio Peñarrieta, J. Antonio Alvarado, Bjorn Bergenstahl, Bjorn Ákesson, 2009) (Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao, 2022) (F.M. Yang, H.M. Li, F. Li, Z.H. Xin, L.Y. Zhao, Y.H. Zheng, Q.H. Hu, 2010). Sin embargo, esta fruta presenta algunos inconvenientes relacionados al tiempo corto de conservación ocasionado por su elevada tasa de respiración, una baja resistencia al daño mecánico, pérdida de agua y susceptibilidad al cambio de temperatura que a su vez pueden causar cambios en la fruta modificando el nivel de pH, sólidos totales, pérdida de color, firmeza y peso total, provocando una disminución de la vida útil posterior a la cosecha de la fruta (Rafael E. González-Cuello, Stephanie Restrepo, Yellys Anaya, Luis Garcia-Zapateiro, 2022) (Valentina Chiabrandi, Luigi Garavaglia, Giovanna Giacalone, 2019).



Figura 5 Frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*)

(*ciencias.uautonoma.cl, s.f.*)

Es así como el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los envases activos desarrollados a partir de PLA y alginato, combinados con extracto de cáscara de castaña y harina fina de cáscara de castaña en las propiedades saludables de las frutillas, así como el efecto que tendrá el uso de estas películas en la calidad organoléptica de la fruta almacenada y la aceptabilidad de las mismas por parte del consumidor.

3. HIPÓTESIS

Envases activos desarrollados a partir de PLA y alginato combinados con extracto de cáscara de castaña y harina fina de cáscara de castaña, conservan las propiedades saludables de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*).

Por otro lado, el uso de envases activos desarrollados a partir de PLA y alginato combinados con extracto de cáscara de castaña y harina fina de cáscara de castaña mantienen o incrementan la aceptabilidad de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) por parte del consumidor.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades saludables de *Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa* almacenadas en nuevas películas activas a base de cáscara de castaña, así como su aceptabilidad por parte del consumidor.

4.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar las propiedades fisicoquímicas y saludables (actividad antioxidante y contenido de vitamina C) de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña.
2. Evaluar la aceptabilidad de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña mediante la aplicación de pruebas sensoriales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales y reactivos

Las frutillas fueron adquiridas en “La Vega Monumental” ubicada en la ciudad de Concepción, Chile. En general se eligieron frutas de tamaño uniforme, libres de lesiones aparentes y de coloración rojiza lo más uniforme posible. Con relación a los frutos de castaña, estos fueron adquiridos en el comercio local de la ciudad de Concepción, Chile. De estos frutos se conservó la cáscara externa que fue utilizada para obtener el extracto y la harina fina que fueron incorporados en la elaboración de los envases activos.

Con respecto a los biopolímeros utilizados para el desarrollo de los envases activos, el ácido poliláctico 4032D (perlas) fue adquirido de la tienda “Everyday Use Store (Aliexpress, China), mientras que el alginato de sodio (polvo) fue adquirido de Oregon Chem Group, Chile.

Los solventes de calidad analítica como: etanol, diclorometano, ácido orto fosfórico, ácido fórmico, metanol y de calidad HPLC como el acetonitrilo junto con los reactivos sólidos de calidad analítica como: cloruro de calcio (CaCl_2), butil hidroxitolueno (BHT), carbonato de sodio (Na_2CO_3) fueron proporcionados por el Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CyTA) de la Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción.

Los reactivos y estándares de calidad analítica como: reactivo Folin-Ciocalteu, 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH), 2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido

sulfónico]-sal de di amonio (ABTS), peroxodisulfato de potasio, ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) y el estándar de ácido gálico fueron adquiridos mediante proveedores autorizados (Health Equipment Supply Ltda., Chile).

El estándar de ácido ascórbico fue proporcionado por el laboratorio de análisis de medicamentos del Departamento de Farmacia de la Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción.

El agua para la preparación de las soluciones requeridas para los ensayos químicos fue agua purificada por un sistema Milli-Q (RephiLe Bioscience, Ltd)

5.2. Preparación de la cáscara de castaña

La preparación para obtener la harina fina y el extracto de cáscara de castaña utilizados en la elaboración de las películas activas comenzó con la adquisición del fruto de castaña en el mercado local en la ciudad de Concepción, Chile. Se retiraron las cáscaras externas (cáscara café) del fruto, se llevaron las mismas a la estufa (Binder WTC, Alemania) a 50°C/24 h para secar y finalmente se trituraron las cáscaras secas a través de un procesador de alimentos (Retsch, Alemania) y un mortero automático (Pulverisette 2, FRITSCH, Alemania) para reducir el tamaño de partícula. Las cáscaras molidas fueron depositadas en una serie de tamices con rango de medida de 1000 a 75 µm (U.S. Standard Sieve Series, Dual Manufacturing Co., EEUU) y se separaron las que quedaron retenidas en el tamiz de 500 µm y en el tamiz de 75 µm.

Las partículas retenidas en el tamiz de 75 μm (harina fina) fueron añadidas directamente en la elaboración de las películas de PLA. En cambio, para obtener el extracto de cáscara de castaña necesario en la elaboración de las películas de alginato se tomaron 10 g de cáscara de castaña molida retenida en el tamiz de 500 μm y se transfirieron junto con 100 mL de solución de etanol al 50% a un matraz Erlenmeyer que fue instalado en un agitador orbital (Orbital Shaker OS-20, BOECO, Alemania) a 200 rpm/30 min/temperatura ambiente para lograr una mezcla. Posteriormente la mezcla fue filtrada y el líquido recuperado fue transferido a un rotavapor (RE100-Pro, DLAB, China) establecido a 70°C/75 rpm para eliminar todo el solvente y obtener el extracto de cáscara de castaña.

5.3. Preparación de las películas de alginato

Las películas de alginato fueron preparadas según el método descrito por (Moreira, D.; Gullón, B.; Gullón, P.; Gomes, A.; Tavaría, F., 2016) con modificaciones. Para la preparación de las películas blanco de alginato se pesaron 2,00 g de alginato de sodio y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 250 mL junto con 100 mL de agua destilada caliente (60-70°C). La mezcla se agitó (Magnetic Stirrer 752A, Fisotom, Brasil) hasta completa disolución aproximadamente durante 1 h/60°C. Posteriormente se dejó enfriar, se agregaron 3,00 g glicerina a la mezcla y se continuó agitando por 30 min más hasta alcanzar completa homogenización. Pasado el tiempo, se transfirieron entre 20-25 g de la mezcla a placas Petri de plástico distribuyendo uniformemente, se aplicó por aspersión (spray) solución de cloruro de calcio 1% p/v y se depositaron las placas

Petri en un deshidratador (Deshidratador IR-D5, Counter Intelligence, Corea) a 40°C por 24 h. Finalmente se retiraron las películas formadas de las placas Petri y se guardaron puestas entre papel encerado para ser almacenadas en un desecador hasta el momento de ser utilizadas.

Para la preparación de las películas con BHT, se añadieron 1,67 mL de la solución de BHT 0,001% al volumen de agua antes de completar los 100 mL y se continuó con el procedimiento para la preparación de las películas blanco de alginato. Con respecto a las películas con 10% de extracto de cáscara de castaña, se añadieron 0,20 g de extracto de cáscara de castaña obtenido en 5.2. al matraz Erlenmeyer junto con el volumen de agua puesto a calentar para iniciar con la preparación de las películas y se continuó con el procedimiento para la preparación de las películas blanco de alginato.

5.4. Preparación de las películas de ácido poliláctico

Las películas de ácido poliláctico fueron preparadas según el método descrito por (Rhim, J. W.; Hong, S. I.; Ha, C. S. , 2009) con modificaciones. Para la preparación de las películas blanco se secaron perlas de PLA en estufa (Binder WTC, Alemania) aproximadamente a 60°C/24 h. Luego, se pesaron 5,00 g de PLA seco y se transfirieron a una botella de vidrio de 100 mL junto con 100 mL de diclorometano, la mezcla se agitó (Magnetic Stirrer MMS-3000, BOECO, Alemania) hasta completa disolución aproximadamente durante 1 h/temperatura ambiente y posteriormente se sometió la mezcla a ultrasonido (Ultrasonic cleaner GD0203, China) por 15 min. Pasado el tiempo, se transfirieron 20-30 g de la

mezcla a placas Petri de vidrio distribuyendo uniformemente, se ubicaron las placas con la mezcla bajo campana y sobre una superficie horizontal para dejar secar por 12 a 16 h. Luego, se depositaron las placas Petri dentro de una estufa al vacío (Vacuum Drying Oven, BIOBASE, China) a 40°C por 1-2 h para remover el solvente remanente. Finalmente se retiraron las películas formadas de las placas Petri y se guardaron puestas en papel encerado para ser almacenadas en un desecador hasta el momento de ser utilizadas.

Para la preparación de las películas con BHT, se añadieron 1,67 mL de la solución de BHT 0,001% al volumen de diclorometano antes de completar los 100 mL y se continuó con el procedimiento para la preparación de las películas blanco de PLA. Con respecto a las películas con 10% de cáscara de castaña, se añadieron 0,50 g de harina fina de cáscara de castaña obtenida en 5.2. a la botella de vidrio antes de completar con los 5,00 g de PLA y se continuó con el procedimiento para la preparación de las películas blanco de PLA.

5.5. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas se realizó por triplicado utilizando los siguientes tratamientos que incluyeron frutillas almacenadas durante un período de catorce días a una temperatura de 4°C y 50% humedad relativa aproximadamente: (i) sin película (control negativo), (ii) film comercial

(alusa) (control positivo), (iii) películas de PLA blanco, (iv) películas de PLA con BHT, (v) películas de PLA con 10% de cáscaras de castaña, (vi) películas de alginato blanco, (vii) películas de alginato con BHT y (viii) películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña.

5.5.1. Propiedades físicas

5.5.1.1. Pérdida de peso

Se determinó la pérdida de peso de la fruta almacenada en las películas activas mediante gravimetría siguiendo los métodos descritos por (Valentina Chiabrand, Luigi Garavaglia, Giovanna Giacalone, 2019), (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018) con modificaciones. Se registraron los pesos iniciales (M_0) de todas las frutillas antes de almacenarlas en las películas activas y cada dos días se registraron los pesos de muestras elegidas (M_t). Así la pérdida de peso, expresada en porcentaje %, se determinó por medio de la Ecuación 1.

$$\text{Pérdida de peso \%} = \frac{M_0 - M_t}{M_0} * 100$$

Ecuación 1

Donde:

M_0 : peso inicial de la muestra de fruta fresca [g]

M_t : peso de la muestra de fruta en distintos días [g]

5.5.1.2. CIELab y cromaticidad

Se determinó el cambio de color (ΔE) y la cromaticidad (C^*) de la fruta almacenada en los envases de películas activas empleando un colorímetro digital (Colorimeter CS-10; CHN Spec; China) y siguiendo los métodos descritos por (Valentina Chiabrande, Luigi Garavaglia, Giovanna Giacalone, 2019), (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018) con modificaciones. En el día cero se registraron los valores iniciales de L^* (luminosidad: claro/oscurito), a^* (rojo/verde) y b^* (amarillo/azul) tomados en dos puntos distintos de la región ecuatorial de las frutillas antes de almacenarlas en las películas activas. Posteriormente, cada dos días se midieron nuevamente los valores de L^* , a^* y b^* . El cambio de color fue calculado mediante la Ecuación 2 y la cromaticidad se obtuvo directamente del software instalado en el computador correspondiente al instrumento.

$$\Delta E = \sqrt{(L_t^* - L_0^*)^2 + (a_t^* - a_0^*)^2 + (b_t^* - b_0^*)^2}$$

Ecuación 2

5.5.1.3. Firmeza

Se determinó la firmeza de la fruta almacenada en los envases de películas activas empleando un analizador de textura manual (Fruit Hardness Tester, GY-3, Capacity: 12 [kg/cm²], China) según lo descrito por (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018) con modificaciones. Se registraron cada dos días los valores de firmeza [kg/cm²] tomados en tres diferentes puntos de la frutilla.

5.5.2. Propiedades químicas

5.5.2.1. Preparación del extracto de frutilla para los análisis de CFT, DPPH,

ABTS

Para la preparación del extracto, se trituraron (Ultra-Turrax T 25 basic, IKA® Works, Inc., EEUU) las frutillas por separado hasta obtener una pulpa homogénea. Luego, se transfirieron 2,5 g de pulpa triturada homogénea junto con 10 mL de metanol a tubos de plástico de 15 mL. Se agitó enérgicamente hasta lograr integrar la pulpa con el solvente y se dejó reposar por 12 h en refrigeración. Pasado el tiempo de reposo, se centrifugó (Biocen 22 R, orto alresa, España) a 4000 rpm/15 min/4°C. Finalmente se recuperó el sobrenadante para realizar los análisis.

5.5.2.2. Compuestos fenólicos totales (CFT)

Se determinó la cantidad de compuestos fenólicos totales de frutillas utilizando ácido gálico como estándar y siguiendo el método descrito por (J. Mauricio Peñarrieta, J. Antonio Alvarado, Bjorn Bergenstahl, Bjorn Ákesson, 2009) con modificaciones. Se mezclaron con ayuda de un vortex 100 µL de extracto obtenido en 5.5.2.1. o solución estándar de ácido gálico, 500 µL de agua destilada y 150 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido diez veces. Se dejó reposar en oscuridad a temperatura ambiente durante 6 min y pasado el tiempo de reposo se agregaron a cada una de las muestras 500 µL de agua destilada y

750 µL de solución de Na₂CO₃ al 7%, se agitaron nuevamente con vortex y se dejaron reposar en oscuridad a 25°C durante 90 min. Pasado el tiempo de reposo se midieron las absorbancias de las muestras en espectrofotómetro (Jasco V-530, Shimadzu, Japón) a 760 nm realizando auto Zero y un blanco con agua destilada. Los resultados obtenidos de las absorbancias finales de cada muestra se compraron con la curva estándar de ácido gálico (50 – 250 µg/mL), para luego realizar los cálculos necesarios y permitir expresar los resultados como mg de ácido gálico por gramo de fruta fresca. La prueba fue realizada cada dos días por triplicado.

5.5.2.3. Actividad antioxidante, método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)

Se utilizó el método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) descrito por (Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao, 2022) con modificaciones para determinar la actividad antioxidante de frutillas. Se mezclaron con ayuda de un vortex 300 µL de extracto obtenido en 5.5.2.1 o solución estándar de Trolox, 300 µL de etanol y 900 µL de solución (en etanol) de DPPH 0,1 mmol/L, la absorbancia de la muestra blanco (etanol) se midió de inmediato en el espectrofotómetro a 517 nm de longitud de onda para luego dejar reposar todas las muestras 30 min a 25°C en oscuridad. Pasado el tiempo de reposo se midieron las absorbancias de las muestras en espectrofotómetro (Jasco V-530, Shimadzu, Japón) a 517 nm realizando auto Zero y un blanco con

etanol calidad p.a. Las absorbancias finales de cada muestra se compararon con la curva estándar de Trolox (2 – 75 $\mu\text{mol/L}$), para luego realizar los cálculos necesarios y permitir expresar los resultados como μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca. La prueba fue realizada cada dos días por triplicado.

5.5.2.4. Actividad antioxidante, método de 2,2'-azinobis [3- etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de di amonio (ABTS)

Se utilizaron los métodos de 2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de di amonio (ABTS) descritos por (J. Mauricio Peñarrieta, J. Antonio Alvarado, Bjorn Bergenstahl, Bjorn Ákesson, 2009) (Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao, 2022) con modificaciones para determinar la actividad antioxidante de frutillas. Se preparó una solución de peroxodisulfato de potasio 2,45 mmol/L diluyendo una solución madre de peroxodisulfato de potasio 140 mmol/L con una solución de ABTS 7 mmol/L. La solución obtenida se dejó reposar a temperatura ambiente y oscuridad por 12 a 16 horas antes del análisis. Pasado el tiempo de reposo, la solución de peroxodisulfato de potasio 2,45 mmol/L se diluyó con etanol p.a. hasta alcanzar una absorbancia de $0,70 \pm 0,02$ a 734 nm; la mezcla debe alcanzar dicha absorbancia y mantenerse estable al menos 5 minutos antes de ser utilizada en el ensayo (solución de trabajo de ABTS).

A continuación, se mezclaron con ayuda de un vortex 30 μL de extracto obtenido 5.5.2.1. o solución estándar de Trolox con 3 mL de la solución de trabajo de ABTS

y se dejaron reposar en oscuridad a temperatura ambiente durante 6 minutos, pasado el tiempo de reposo las absorbancias de las muestras se midieron en espectrofotómetro (Jasco V-530, Shimadzu, Japón) a 734 nm realizando auto Zero con etanol calidad p.a y un blanco con la solución de trabajo. Las absorbancias finales de cada muestra se compraron con la curva estándar de Trolox (0,0625 – 1 mmol/L), para luego realizar los cálculos necesarios y permitir expresar los resultados como μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca. La prueba fue realizada cada dos días por triplicado.

5.5.2.5. Preparación del extracto de frutilla para el análisis del contenido de vitamina C

Para la preparación del extracto, se transfirió 1,25 g de la pulpa triturada en 5.5.2.1 junto con 3,75 mL de solución ácido ortofosfórico 4,5% y 6,25 mL de agua destilada MilliQ a tubos de plástico de 15 mL. Se agitó enérgicamente hasta lograr integrar la pulpa con el solvente y se dejó dejar reposar por 15 min en oscuridad. Pasado el tiempo de reposo, se centrifugó a 4000 rpm/15 min/4°C y se recuperó el sobrenadante. Finalmente se filtró a través de discos PTFE de 0,45 μm reservando la solución filtrada en viales ámbar para realizar los análisis.

5.5.2.6. Determinación de vitamina C

Para determinar la cantidad de vitamina C presente en frutillas se utilizó ácido ascórbico como estándar y el método descrito por (Paulo Rogerio Siriano Borges, Merete Edelenbos, Erik Larsen, Thais Hernandez, Elisangela Elena Nunes,

Eduardo Valerio de Barros Vilas Boas, Caroline Roberta Freitas Pires, 2022) con modificaciones. El extracto obtenido en 5.5.2.5. y la solución estándar de ácido ascórbico fueron analizados utilizando un equipo de HPLC (HPLC System, YL9100, Corea) equipado con una columna Kinetex C18 (4,6x150 mm; 2,6 μ m tamaño de partícula). La fase móvil estaba compuesta por fase móvil A: ácido fórmico 0,1% // fase móvil B: 100% acetonitrilo. El gradiente utilizado fue el siguiente: 0 min-0% fase móvil B // 3,5 min-0% fase móvil B // 3,6 min-100% fase móvil B // 5 min-100% fase móvil B // 5,1 min-0% fase móvil B // 7 min-0% fase móvil B, con un flujo de 0,8 mL/min, con una temperatura de 30°C y un volumen de muestra inyectada de 30 μ L. La longitud de onda seleccionada fue 245 nm. Todos los resultados obtenidos (*peaks*) de las muestras analizadas fueron registrados y guardados a través del software “YL Clarity” Para obtener la cantidad de ácido ascórbico en la fruta se compararon las áreas de las muestras con la curva estándar de ácido ascórbico (1 – 60 μ g/mL), para luego realizar los cálculos necesarios y permitir expresar los resultados como mg ácido ascórbico por 100 gramos de fruta fresca. La prueba fue realizada cada dos días por triplicado.

5.6. Evaluación sensorial de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña

Inicialmente el proceso se realizó de acuerdo con lo establecido en el “Protocolo de evaluación sensorial de frutillas almacenadas en un envase activo a base de cáscara de castaña” elaborado a partir de las directrices establecidas en las normas UNE-EN ISO 8586 e ISO 412.

La evaluación de las propiedades sensoriales se realizó utilizando los siguientes tratamientos que incluyeron frutillas almacenadas durante un período de almacenamiento de cinco días a una temperatura de 4°C y 50% humedad relativa aproximadamente: (i) sin película (control negativo), (ii) film comercial (alusa) (control positivo), (iii) películas de PLA blanco, (iv) películas de PLA con BHT, (v) películas de PLA con 10% de cáscaras de castaña, (vi) películas de alginato blanco, (vii) películas de alginato con BHT y (viii) películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña.

5.6.1. Reclutamiento de participantes

El proceso de evaluación sensorial inició con la publicación física y virtual del afiche informativo para el reclutamiento de los posibles participantes (Anexo 1). Según el protocolo establecido, se recomendó que las personas interesadas no estuvieran relacionadas con el producto para evitar influencia en sus

evaluaciones. Paralelamente, los interesados al momento de ingresar al formulario para registrar sus datos tuvieron que leer y aceptar un “consentimiento informado” que constaba de una serie de requisitos tales como: mayoría de edad, disponibilidad de tiempo y criterios de exclusión relacionados a reacciones alérgicas a frutillas o a castañas, alguna patología de las vías respiratorias (resfrío o gripe), entre otros. Esto con el fin de evitar inconvenientes durante las etapas posteriores de selección, entrenamiento y evaluación final.

5.6.2. Selección de participantes

La selección de los participantes estuvo definida por las pruebas sensoriales de sabor, color y olor especificadas en el protocolo de evaluación, estas fueron aplicadas a todos los interesados que aceptaron las condiciones de participación, llenaron el formulario y se presentaron en la fecha indicada.

5.6.2.1. Prueba de sabor

La prueba consistió en presentar a los candidatos muestras de referencia de cada sabor tal como se detalla en la Tabla 2 para que se familiaricen con ellas. Luego, a cada participante se le entregaron una serie de al menos el doble de muestras repitiendo algunas de ellas, las cuales fueron codificadas con claves únicas. Aproximadamente 15 mL de muestra fue entregado a los participantes para que degusten y posteriormente emparejen con las muestras de referencia. Además, se puso a disposición agua, la misma que se utilizó para preparar las soluciones,

para que se enjuaguen la boca en caso de ser necesario. Se recomendó que los candidatos elegidos tengan al menos el 80% de las respuestas correctas.

Tabla 2 Diluciones para muestras de sabor

Sabor	Sustancia	Nro. CAS	Concentración en agua a temperatura ambiente [g/L]
Dulce	Sacarosa	57-50-1	10 (1%)
Ácido	Ácido cítrico	77-92-9	0,3 (0,03%)
Amargo	Cafeína	58-08-2	0,3 (0,03%)
Salado	Cloruro sódico	7647-14-5	2 (0,2%)

Fuente: Modificado desde protocolo de evaluación sensorial de frutillas

5.6.2.2. Prueba de color

La prueba consistió en el ordenamiento de diez muestras coloreadas que abarcan la región del rojo hasta el azul, las cuales fueron entregadas en forma aleatoria a los candidatos. Estas muestras fueron preparadas a partir de los reactivos mencionados en la Tabla 3, para que luego cada uno de los participantes procediera a ordenar desde el rojo, pasando por el violeta hasta el azul. Se recomendó que los candidatos elegidos tuvieran al menos el 80% de las respuestas correctas.

Tabla 3 Reactivos para la preparación de muestras de la prueba de color

Color	Sustancia	Identificación
Azul	Azul patente V	E 131
Rojo	Rojo carmoisina	E 122

Fuente: Modificado desde protocolo de evaluación sensorial de frutillas

5.6.2.3. Prueba de olor

La prueba consistió en la presentación a los candidatos de las muestras que se detallan en la Tabla 4, dichas muestras fueron codificadas con claves únicas. Inicialmente los participantes recibieron una muestra de cada tipo para que se familiaricen con ellas, luego se les entregó a los participantes una serie de al menos el doble de muestras para que las emparejaran con las muestras de referencia. Se recomendó que los candidatos elegidos tuvieran al menos el 80% de las respuestas correctas.

Tabla 4 Sustancias de olor y sus concentraciones para pruebas de selección

Olor	Sustancia	Nro. CAS	Concentración en etanol* a temperatura ambiente [g/L]
Limón, fresco	Citral	5392-40-5	$1 \cdot 10^{-3}$
Vainilla	Vainillina	121-33-5	$1 \cdot 10^{-3}$
Tomillo	Timol	89-83-8	$5 \cdot 10^{-4}$

Fuente: Modificado desde protocolo de evaluación sensorial de frutillas

*Las disoluciones madre se prepararon con etanol, pero la disolución final se preparó con agua y no debió contener más del 2% en volumen de alcohol.

5.6.3. Entrenamiento de participantes y selección de descriptores

Los participantes que acertaron a la totalidad de las pruebas sensoriales aplicadas (100% de las respuestas correctas) fueron notificados e invitados a participar de sesiones informativas y de entrenamiento impartidas por un académico con experiencia en este tipo de evaluación. A los participantes seleccionados se les explicó aspectos importantes de una evaluación sensorial,

las características relacionadas a las propiedades organolépticas de las frutillas y la manera de calificar el estado de la fruta de acuerdo con descriptores definidos. Al finalizar la capacitación se realizó una evaluación sensorial piloto (prueba de sabor, color y olor a frutillas adquiridas el mismo día) donde se definió en conjunto con todos los participantes seleccionados y el académico los descriptores necesarios para evaluar las frutillas de manera homogénea.

5.6.4. Evaluación final

Los participantes seleccionados y entrenados para la evaluación final a las frutillas tuvieron que calificar en base a una escala hedónica de siete puntos detallada en la Tabla 5, el estado de la fruta almacenada durante cinco días a 4°C/50% HR aproximadamente y utilizando los descriptores acordados en la sección previa.

Tabla 5 Escala de evaluación para las características organolépticas de la frutilla

Características	Me disgusta mucho (1)	Me disgusta moderadamente (2)	Me disgusta poco (3)	No me gusta ni me disgusta (4)	Me gusta poco (5)	Me gusta moderadamente (6)	Me gusta mucho (7)
Color							
Olor							
Gusto							
Textura							
Sabor							

Fuente: Elaboración propia

5.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software R y RStudio con los siguientes paquetes: ggplot2, ggpubr, tidyverse, broom, AICcmodavg, car, dplyr, Rmisc, rcompanion, writexl, FSA, effects, readr, multcompView, openxlsx, rio, readxl, RColorBrewer. Los resultados obtenidos de la evaluación a las propiedades fisicoquímicas (pérdida de peso, color, cromaticidad, firmeza, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, método de DPPH, actividad antioxidante, método de ABTS, determinación de vitamina C) de las frutillas almacenadas fueron analizados por el método de análisis de varianza de dos vías (two way ANOVA) donde los tratamientos (tipo de película) y el período de almacenamiento (días) fueron considerados como factores independientes. Se aplicaron los test correspondientes para evaluar si los datos cumplían con los requisitos para aplicar ANOVA: la prueba de Shapiro para evaluar la distribución normal y la prueba de Levene para la homogeneidad de varianza. Para determinar las diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey como análisis post hoc. Se consideraron diferencias significativas con un valor de $p < 0,05$.

Para el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación sensorial a las frutillas almacenadas se utilizó el método de análisis de varianza de una vía (one way ANOVA), donde los tratamientos (tipo de película) fueron considerados como factor independiente. Se utilizaron la prueba de Kruskal y la prueba de Levene para evaluar la normalidad de los datos y la homogeneidad de las varianzas,

respectivamente. Además, se utilizó la prueba de Dunn para determinar el efecto de las películas sobre las variables. Se consideraron diferencias significativas con un valor $p < 0,05$.

Las letras que acompañan a las barras de los Gráficos correspondientes a cada prueba realizada (pérdida de peso, color, cromaticidad, firmeza, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, método de DPPH, actividad antioxidante, método de ABTS, determinación de vitamina C y características organolépticas) indican si existe o no diferencias significativas entre sí.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña

6.1.1. Propiedades físicas

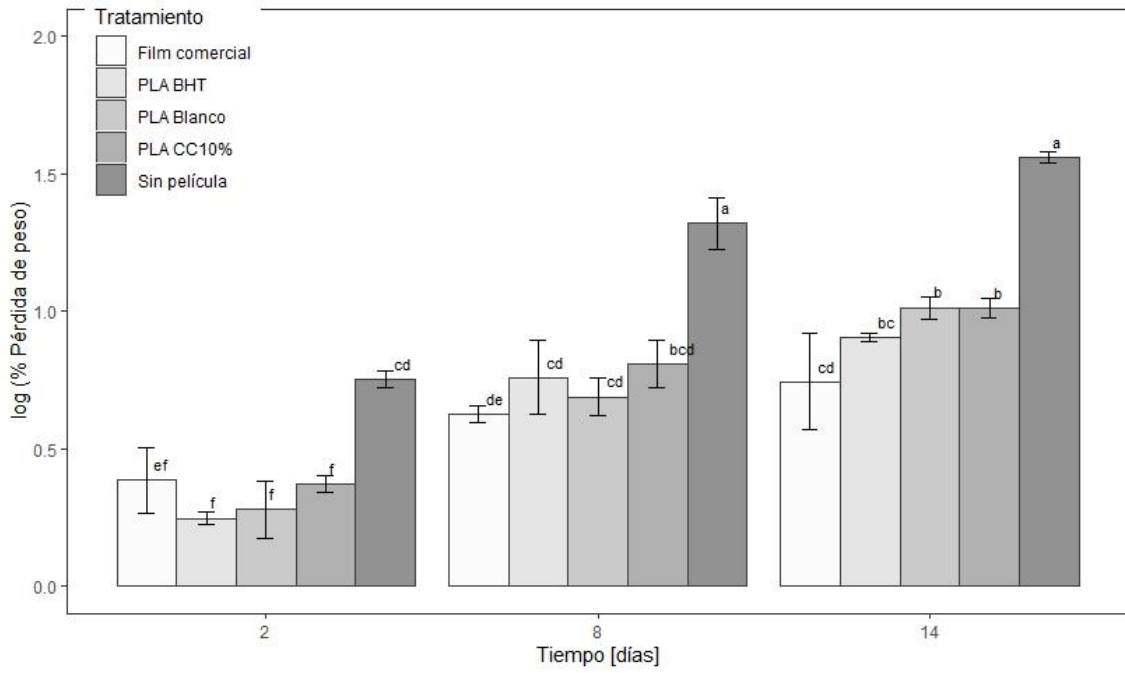
6.1.1.1. Pérdida de peso

La vida útil de las frutas está estrechamente relacionada con la pérdida de peso, considerando este atributo como un indicador de frescura. La pérdida de peso en frutas se produce en función del proceso metabólico respiratorio (tasa de respiración) dando como resultado la evaporación o pérdida de agua durante el almacenamiento a través de la cáscara (Le Pham Tan Quoc, 2020). Además,

este proceso de pérdida tiende a incrementarse significativamente durante el tiempo de almacenamiento debido al proceso natural de maduración de la fruta provocando el deterioro de la misma. Por lo tanto, conseguir porcentajes bajos de pérdida de peso durante el almacenamiento de frutas frescas es lo más aconsejable (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023).

Los resultados obtenidos de la pérdida de peso (Anexo 2) de las frutillas durante los catorce días de almacenamiento en condiciones de temperatura y humedad definidas y bajo el tratamiento elegido fueron transformados logarítmicamente para poder realizar el análisis estadístico, demostrando diferencias tal como se muestra en el Gráfico 1. Las frutas almacenadas en film comercial y en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) presentaron valores menores de log (% pérdida de peso) en comparación con las frutas almacenadas sin envase o en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña).

(a)



(b)

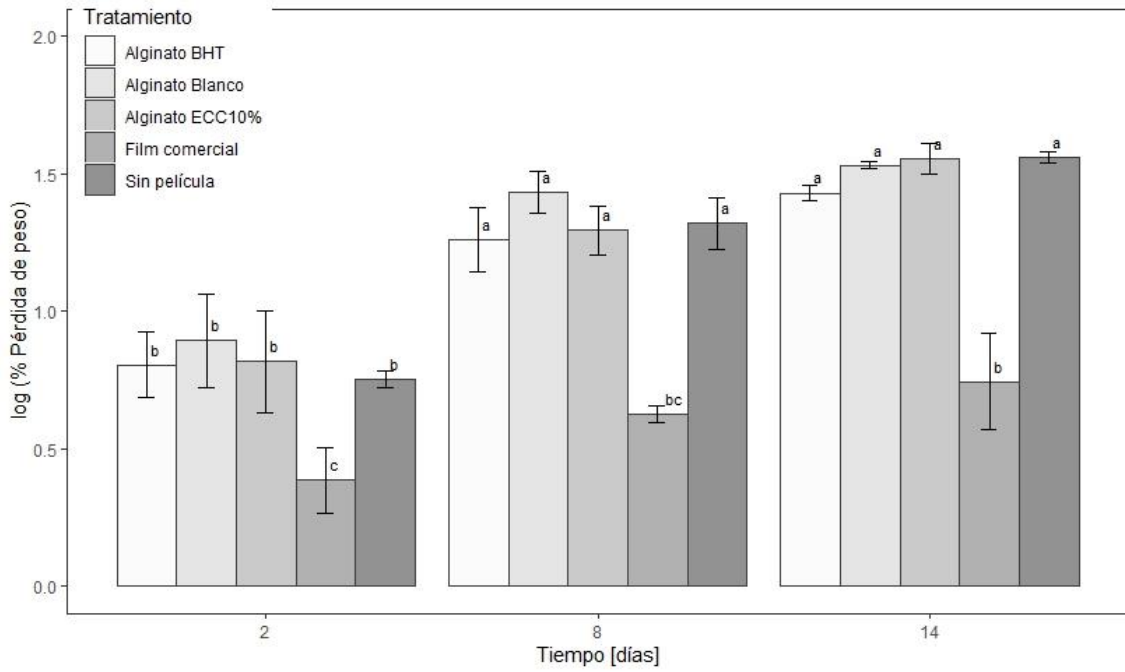


Gráfico 1 Efecto de los tratamientos en el log (% pérdida de peso) de frutillas.

(a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)

Enfocando la atención en los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos, las frutillas almacenadas en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) obtuvieron valores menores de log (% pérdida de peso) y significativamente diferentes ($p < 0,05$) comparado a los valores obtenidos en frutillas que estuvieron sin película y valores mayores ($p < 0,05$) comparado con las frutillas almacenadas en film comercial a partir del octavo día. Por otro lado, las frutillas almacenadas en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) obtuvieron valores mayores de log (% pérdida de peso) y significativamente diferentes ($p < 0,05$) comparado a los valores obtenidos en frutillas almacenadas en film comercial y no se observó diferencia significativa ($p > 0,05$) comparado con las frutillas que estuvieron sin película durante los catorce días.

De manera general se observó que los porcentajes de pérdida de peso fueron en ascenso durante los catorce días. Las frutillas en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) y film comercial presentaron un incremento leve (PLA: 5,3%, 5,06%, 6,32%; film comercial: 3,55%) en el porcentaje de pérdida en comparación con las frutillas almacenadas en películas de alginato o

sin película que tuvieron un incremento elevado (alginato: 16,97%, 18,5%, 24,08%; sin película: 19,68%) desde el día dos hasta el día catorce (Anexo 2).

Importante mencionar que las películas de PLA con 10% de cáscara de castaña lograron que las frutillas mantengan visualmente una apariencia favorable y característica de una fruta fresca luego de catorce días de almacenamiento; además, se evidencio que las frutillas almacenadas sin película y en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) sufrieron cambios relacionados a la reducción en el tamaño y forma de la fruta dando el aspecto de una frutilla en mal estado.

Similares resultados fueron reportados por otros autores utilizando la misma fruta, con un tiempo de evaluación distinto (21 días), pero almacenadas en películas activas a base de PLA combinadas con otro tipo de compuesto activo obtenido de subproductos de espárragos (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018) (F.M. Yang, H.M. Li, F. Li, Z.H. Xin, L.Y. Zhao, Y.H. Zheng, Q.H. Hu, 2010) (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023).

En resumen, las películas de PLA con 10% de cáscara de castaña actuaron como barreras físicas a la humedad, previniendo la pérdida de agua producto del proceso de respiración y dando como resultado un retraso en el proceso de deshidratación y encogimiento de la fruta.

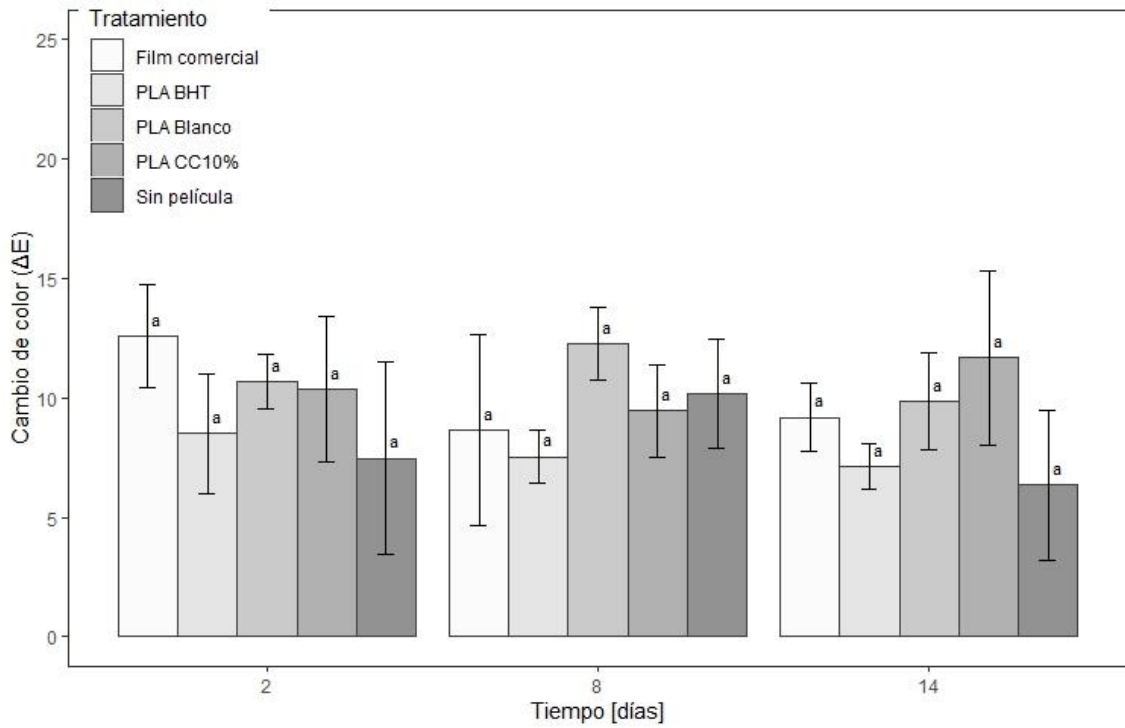
6.1.1.2. CIELab y cromaticidad

El color de las frutas es un atributo importante para determinar la calidad, la preferencia y la aceptación por parte del público consumidor. Este atributo permite indicar la frescura, el deterioro o la contaminación del producto. El uso de envases (películas comerciales o películas activas) no solo protege a las frutas sino también proporciona una barrera física que provoca un retraso o la disminución de la respiración y la transpiración de la fruta afectando también en la disminución de la síntesis de metabolitos secundarios como las antocianinas, ya que existe una limitada capacidad de intercambio de gases entre la fruta y el medio circundante. En particular, la coloración roja característica de las frutillas está dada por la presencia de antocianinas. Estos compuestos se degradan rápidamente en presencia de altos niveles de CO₂, por lo que la disminución de este metabolito secundario producto de la acumulación de gases al interior del envase donde se almacena y el bajo intercambio de gases con el medio externo, se relaciona con la disminución en la coloración de las frutillas (Le Pham Tan Quoc, 2020) (Zheng Y., Wang S., Wang Y., Zheng W., 2007).

Los resultados obtenidos demostraron un leve cambio de color sin diferencias significativas en las frutillas durante los catorce días de almacenamiento en condiciones de temperatura y humedad definidas bajo los tratamientos considerados ($p > 0,05$). Similar comportamiento se observó con los resultados de cromaticidad.

De manera general y de acuerdo con el Gráfico 2, el cambio de color de las frutillas durante los catorce días de almacenamiento fue independiente del tipo de tratamiento elegido, demostrándose que las películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) y las películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) tienen una tendencia y efectividad similar con respecto a la conservación del color en la fruta tal como sucede con el film comercial.

(a)



(b)

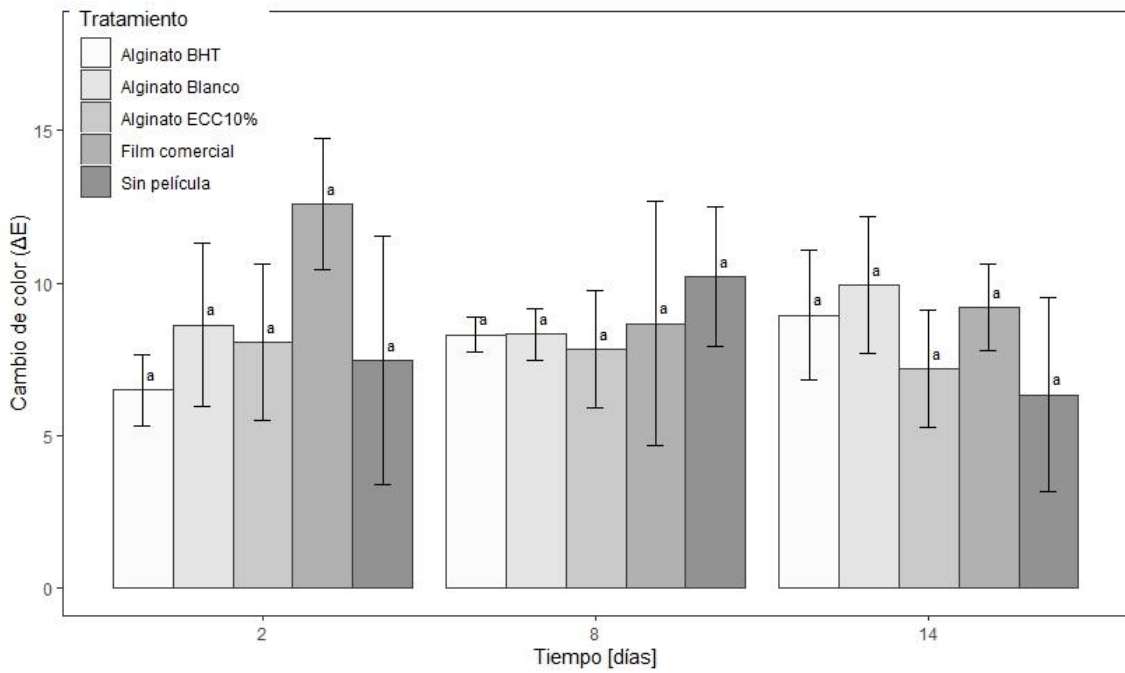


Gráfico 2 Efecto de los tratamientos en el cambio de color de frutillas. (a)

Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en

películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar ($n = 3$)

Enfocando la atención en los resultados de las frutillas almacenadas específicamente en películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña, se logró mantener relativamente constante el cambio de color (valores de ΔE entre 8,33 a 7,18) comparado con las frutillas que estuvieron almacenadas en film comercial (valores de ΔE entre 12,59 a 8,67) y con frutillas almacenadas sin película (valores de ΔE entre 10,40 a 6,34) (Anexo 3). Un comportamiento similar a estos dos últimos tratamientos se observó con respecto a los resultados obtenidos de frutillas almacenadas en películas de PLA con 10% de cáscara de castaña, presentando valores bastante fluctuantes (valores de ΔE entre 10,90 a 7,08) (Anexo 3) durante los catorce días de almacenamiento.

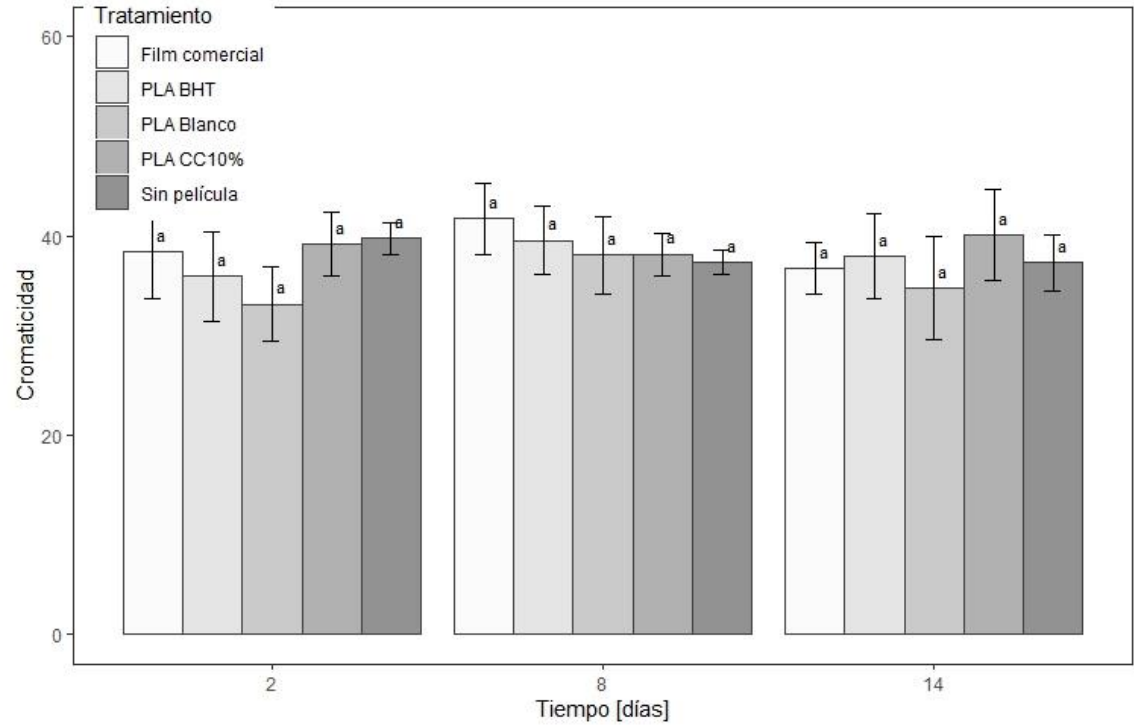
Al comparar los resultados obtenidos con otros trabajos publicados previamente (F.M. Yang, H.M. Li, F. Li, Z.H. Xin, L.Y. Zhao, Y.H. Zheng, Q.H. Hu, 2010), se observó una tendencia similar a la obtenida de investigaciones relacionadas con frutillas almacenadas en otro tipo de película activa y bajo el mismo tiempo de evaluación (14 días). De acuerdo con algunos autores, la tendencia del cambio de color en frutillas sin recubrimiento (valores de ΔE entre 17,7 a 15,38) presenta valores más altos luego de un período de almacenamiento y en cambio valores menores para las frutillas almacenadas en películas activas combinadas con extractos de subproductos de espárragos (valores de ΔE entre 13,04 a 7,45) (Changhong Liu, Tao Jin, Wei Liu, Wenzhuo Hao, Ling Yan, Lei Zheng, 2021).

Importante mencionar que algunos autores indican que el cambio de color se va notando al incrementar el tiempo de almacenamiento y que inicialmente es posible no encontrar una diferencia en la coloración de las frutillas almacenadas (Dong Li, Xiaochen Zhang, Li Li, Morteza Soleimani Aghdam, Xianxue Wei, Jiaqi Liu, Yanqun Xu, Zisheng Luo, 2019) (Le Pham Tan Quoc, 2020).

Con respecto a la cromaticidad de las frutillas, los resultados obtenidos (Anexo 4) que se muestran en el Gráfico 3 demostraron diferencias significativas con respecto al tiempo (días) y no así entre los tratamientos. Esto indica que, en términos de cromaticidad, las frutillas almacenadas en los distintos tipos de películas (tratamientos) no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$)

durante los catorce días de almacenamiento bajo las condiciones de temperatura y humedad definidas.

(a)



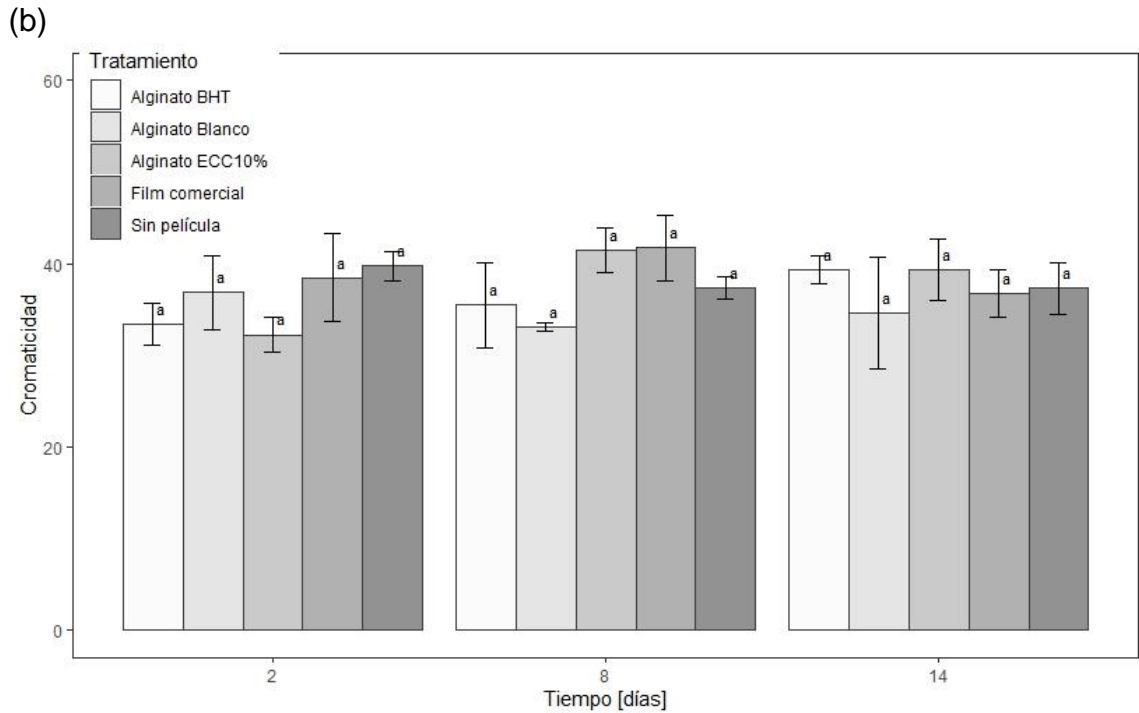


Gráfico 3 Efecto de los tratamientos en cromaticidad de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar

(n = 3)

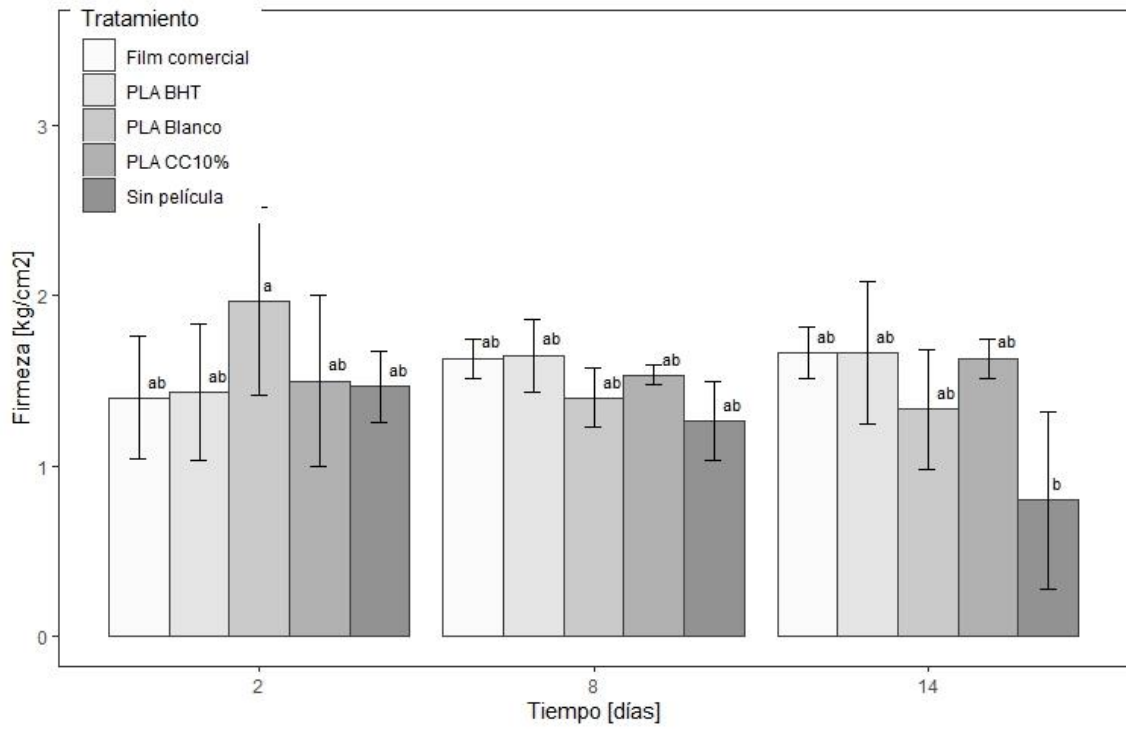
6.1.1.3. Firmeza

La firmeza es un factor importante en la determinación de la calidad post cosecha de las frutas, es una característica que está relacionada con la pérdida de peso y el período de almacenamiento debido a que disminuye en la medida que aumentan los porcentajes de pérdida de peso. Particularmente en las frutillas, el tejido externo de la fruta tiende a volverse blando debido a los cambios metabólicos y la pérdida de humedad conduciendo a un deterioro y el rechazo

del producto entre el público consumidor. Por lo tanto, encontrar la manera de mantener la firmeza de la frutilla el mayor tiempo posible permitiendo extender la vida útil de la fruta es un reto importante por resolver. Por otro lado, los envases utilizados para conservar frutas, sean estos un film comercial o una película activa y que presentan una baja permeabilidad al vapor de agua, aumentan la humedad relativa dentro del envase provocando el ablandamiento y deterioro de la fruta durante el período de almacenamiento (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023) (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018) (Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao, 2022).

Enfocando la atención en los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos y de acuerdo con el Gráfico 4, las frutillas almacenadas en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) obtuvieron valores de firmeza similares a los valores obtenidos en frutillas que estuvieron en film comercial durante los catorce días; además en el día catorce, los valores de firmeza de frutillas almacenadas sin película fueron menores y tuvieron una diferencia ($p < 0,05$) en comparación con los valores de firmeza de las frutillas almacenadas en películas PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) y en film comercial.

(a)



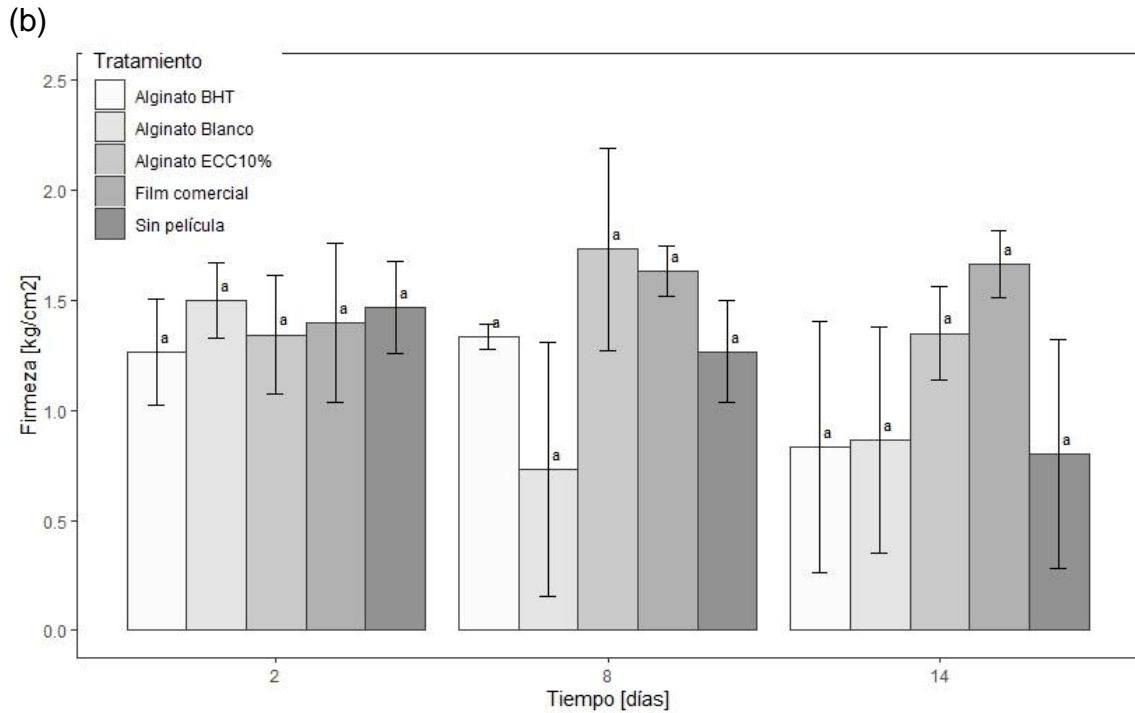


Gráfico 4 Efecto de los tratamientos en la firmeza de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)

Por otro lado, se observó que los resultados obtenidos de firmeza en frutillas almacenadas en películas de alginato ((blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) comparado con los resultados de frutillas almacenadas en film comercial y sin película no obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$) tal como se muestra en el Gráfico 4. Indudablemente se evidenció la reducción en el tamaño de la fruta, una coloración oscura, sin brillo, dejando sensación blanda al tacto y dando el aspecto de una fruta en mal estado junto con la disminución notable en los valores de firmeza; al finalizar el período de almacenamiento las

frutillas almacenadas sin película y las frutillas en películas de alginato (blanco y BHT) presentaron un descenso notable y diferente en los valores de firmeza comparado con obtenidos en las frutillas almacenadas en películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña y en film comercial.

De acuerdo con los resultados de firmeza obtenidos (Anexo 5) para: PLA CC10% desde $1,50 \pm 0,50$ hasta $1,63 \pm 0,12$ kg/cm²; alginato ECC 10% desde $1,34 \pm 0,27$ hasta $1,35 \pm 0,21$ kg/cm²; film comercial desde $1,40 \pm 0,36$ hasta $1,67 \pm 0,15$ kg/cm² y la comparación de los mismos con los resultados reportados en bibliografía, se observó una cierta similitud. Según (Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao, 2022) que trabajó con frutillas sometidas a un tratamiento con resveratrol pos cosecha durante el mismo tiempo de evaluación (14 días), obtuvo los siguientes resultados: Control 3,8 a 2 kg/cm²; Resveratrol 3,8 a 2,5 kg/cm². Si bien estos resultados no son propiamente de frutillas que han sido almacenadas en películas activas, sino más bien son frutas que fueron sometidas a un tratamiento distinto, tienen una tendencia de disminución en la firmeza siendo menor en aquellas frutillas que fueron sometidas al tratamiento mencionado (frutillas con resveratrol), similar a lo obtenido en los resultados del presente trabajo.

De manera general y de acuerdo con resultados previamente obtenidos como parte del proyecto FONDECYT de Iniciación N°11180862, relacionados con la formulación de las películas de PLA con 10% de cáscara de castaña y alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña y que están en proceso de

publicación, se sabe que estas películas tenían una particular estructura que ofrecía buena permeabilidad al vapor de agua, permitiendo una disminución en la humedad relativa y la condensación al interior de la película producto del proceso de respiración lo que redujo la probabilidad que la fruta comience a ablandar.

6.1.2. Propiedades químicas

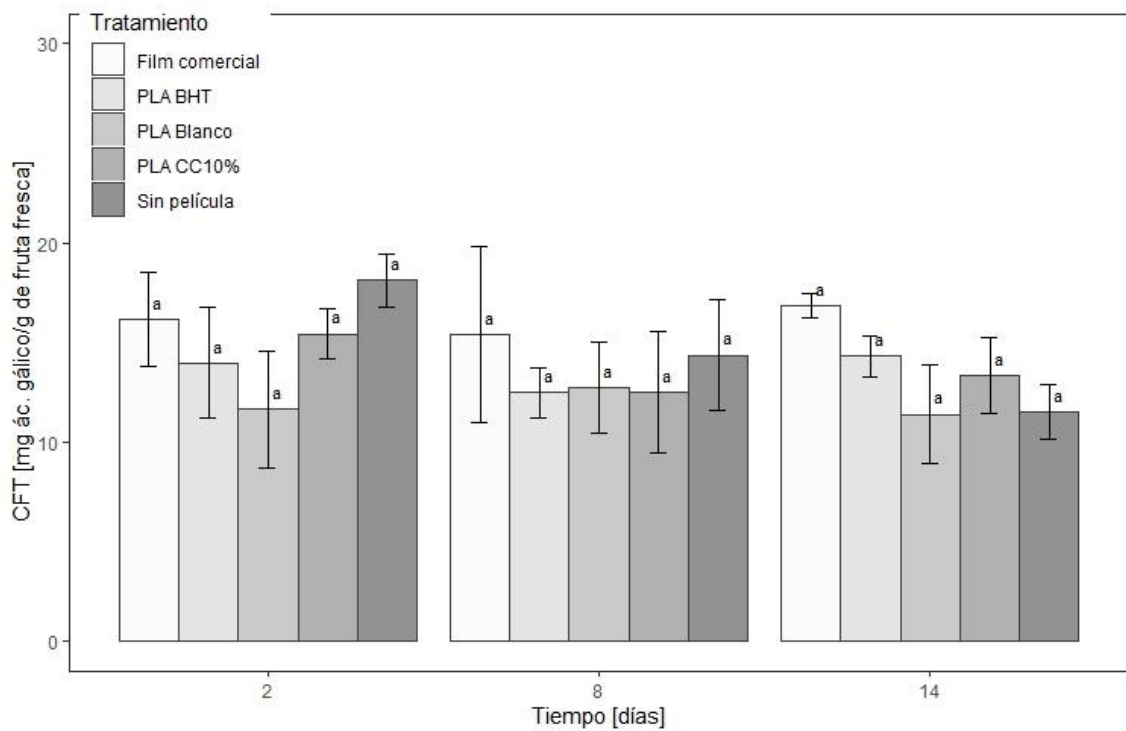
6.1.2.1. Compuestos fenólicos totales (CFT)

Diversos estudios han demostrado que el contenido fenólico en frutas está estrechamente relacionado con la actividad antioxidante. Así, un alto nivel de compuestos fenólicos indica una elevada capacidad antioxidante lo que contribuye en la reducción del deterioro fisiológico de las frutas durante el almacenamiento. Particularmente en las frutillas, el incremento del contenido fenólico durante el almacenamiento se puede atribuir a la acumulación de antocianinas y el desarrollo de una coloración roja intensa (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023) (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018).

Enfocando la atención en los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos, la cantidad de CFT en las frutillas almacenadas durante catorce días en condiciones de temperatura y humedad definidas almacenadas en

películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) no demostraron tener diferencias significativas en comparación a los resultados obtenidos de frutillas almacenadas en film comercial o sin película. De acuerdo con el Gráfico 5, al día catorce se observó una disminución en las cantidades de CFT en las frutillas almacenadas sin película y cantidades de CFT superiores ($p < 0,05$) en frutillas almacenadas en film comercial y en películas de PLA con 10% de cáscara de castaña.

(a)



(b)

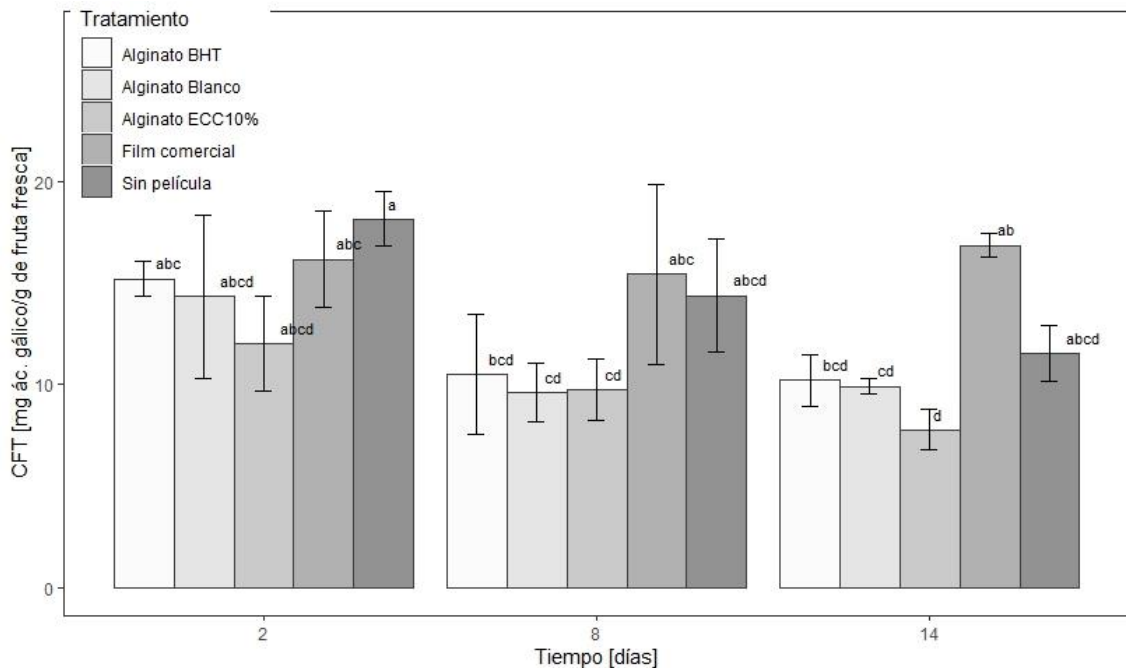


Gráfico 5 Efecto de los tratamientos en el contenido de Compuestos Fenólicos Totales de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar ($n = 3$)

Por otro lado, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en cuanto a las cantidades de CFT de frutillas almacenadas en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) con respecto a las cantidades obtenidas de CFT en frutillas almacenadas en film comercial o sin película. De manera general, las cantidades de CFT disminuyeron durante el período de almacenamiento siendo las frutillas que estuvieron almacenadas en películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña las presentaron cantidades

de CFT inferiores y significativamente diferentes ($p < 0,05$) comparado a las frutillas almacenadas en film comercial o sin película.

De acuerdo con la bibliografía consultada y según (Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria Dulce Antunes, 2023), los valores reportados de CFT para frutillas almacenadas en películas activas a base de PLA/PHB/ATBC enriquecidas con aceite esencial de orégano y citronella durante el mismo período de almacenamiento (14 días) fueron los siguientes: Control desde $86,28 \pm 8,58$ a $233,51 \pm 26,15$ mg ác. gálico/g de fruta fresca; PLA/PHB/ATBC + 5% AE orégano desde $86,28 \pm 8,58$ a $220,32 \pm 33,87$ mg ác. gálico/g de fruta fresca; PLA/PHB/ATBC + 5% AE citronella desde $86,28 \pm 8,58$ a $201,28 \pm 43,65$ mg ác. gálico/g de fruta fresca. Estos resultados fueron superiores a las concentraciones obtenidas en el presente trabajo, sobre todo en las frutillas que fueron almacenadas en film comercial y en películas de PLA con 10% de cáscara de castaña, las cuales alcanzaron resultados tales como (Anexo 6): Film comercial desde $15,25 \pm 2,91$ hasta $16,84 \pm 0,60$ mg ác. gálico/g de fruta fresca y PLA CC10% desde $12,46 \pm 3,61$ hasta $13,34 \pm 1,88$ mg ác. gálico/g de fruta fresca. Claramente se pudo evidenciar una notable diferencia que puede deberse a los tratamientos utilizados (películas activas a base de PLA enriquecidas con aceites esenciales versus películas activas a base de PLA con cáscara de castaña), a factores como: la variedad de frutilla elegida para trabajar y las condiciones de producción, el proceso de extracción de compuestos

fenólicos elegido y las diferencias que pueden existir en las condiciones de trabajo relacionado al procedimiento del ensayo (tipo de equipos, reactivos, condiciones ambientales). Sin embargo y a pesar de las diferencias entre películas, la tendencia con respecto a la concentración de CFT es similar entre lo reportado en la bibliografía y lo obtenido en este trabajo. Las frutillas almacenadas en film comerciales alcanzaron concentraciones altas en comparación a las frutillas almacenadas en películas activas. Los resultados obtenidos de las cantidades de compuestos fenólicos totales tienen concordancia con los resultados de las pruebas físicas y con el proceso metabólico respiratorio de las frutas, un proceso caracterizado por la continua pérdida de peso, la disminución en la firmeza de la frutilla y el descenso en la cantidad de contenido fenólico.

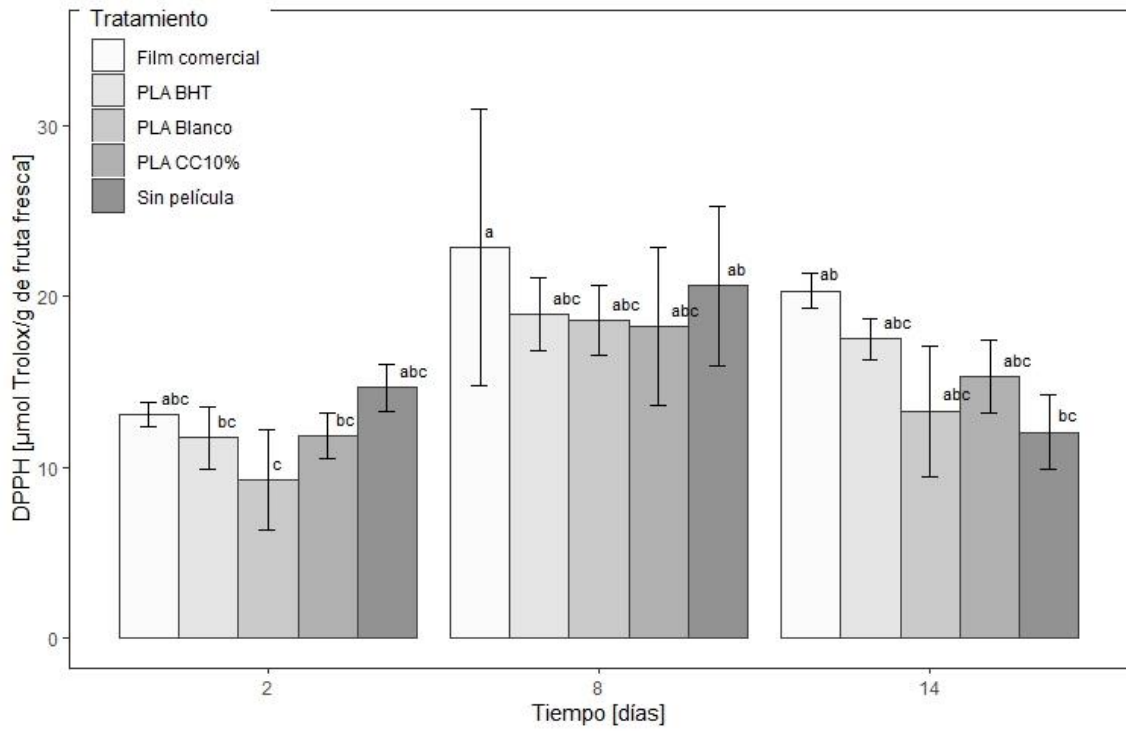
6.1.2.2. Actividad antioxidante, método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)

La determinación de la actividad antioxidante es útil para valorar la calidad de un alimento y la cantidad de antioxidantes que están presentes en la matriz. Importante destacar que la actividad antioxidante de una fruta está relacionada con el efecto de las sustancias antioxidantes presentes en la matriz, tales como: los compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas, entre otros, que van disminuyendo gradualmente post cosecha y durante el almacenamiento, provocando el deterioro de la fruta. Adicionalmente, se conoce que los

antioxidantes naturales de las frutas pueden producir efectos beneficiosos en la salud de las personas que los consumen con regularidad reconociendo importantes funciones biológicas como ser: antienvjecimiento, anticancerígeno y antiinflamatorio (Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue, 2018).

Con respecto a la actividad antioxidante determinada por el método de DPPH, las frutas almacenadas en film comercial y en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) presentaron una mayor actividad antioxidante expresada como μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca en comparación con las frutas almacenadas sin película o en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) al finalizar el período de almacenamiento. Importante mencionar que los resultados obtenidos de la actividad antioxidante de las frutillas almacenadas en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) fueron transformados logarítmicamente para poder realizar el análisis estadístico (Anexo 7).

(a)



(b)

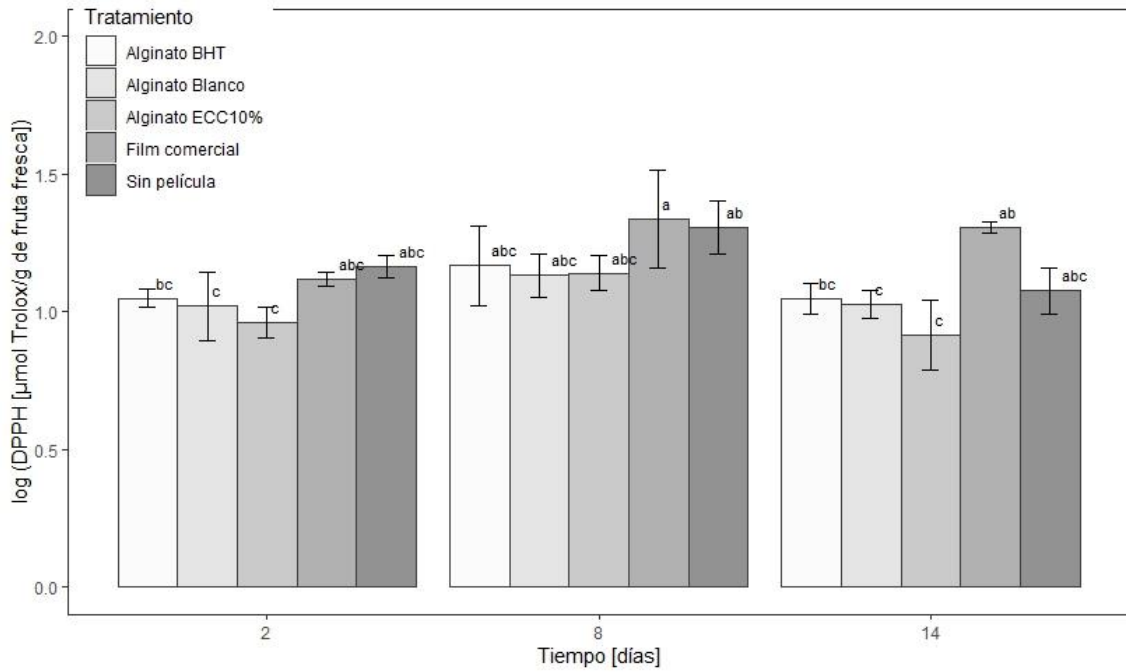


Gráfico 6 Efecto de los tratamientos en la actividad antioxidante de frutillas según el método de DPPH. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 3)

De acuerdo con el Gráfico 6, enfocando la atención en los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos durante el período de almacenamiento, las frutillas almacenadas específicamente en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) alcanzaron cantidades de μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca diferentes y menores ($p < 0,05$) a las frutillas que estuvieron almacenadas en film comercial. Por otro lado, las frutillas almacenadas en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) presentaron cantidades de log (μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca) significativamente diferentes y menores ($p < 0,05$) comparado con las frutillas almacenadas en film comercial o sin película.

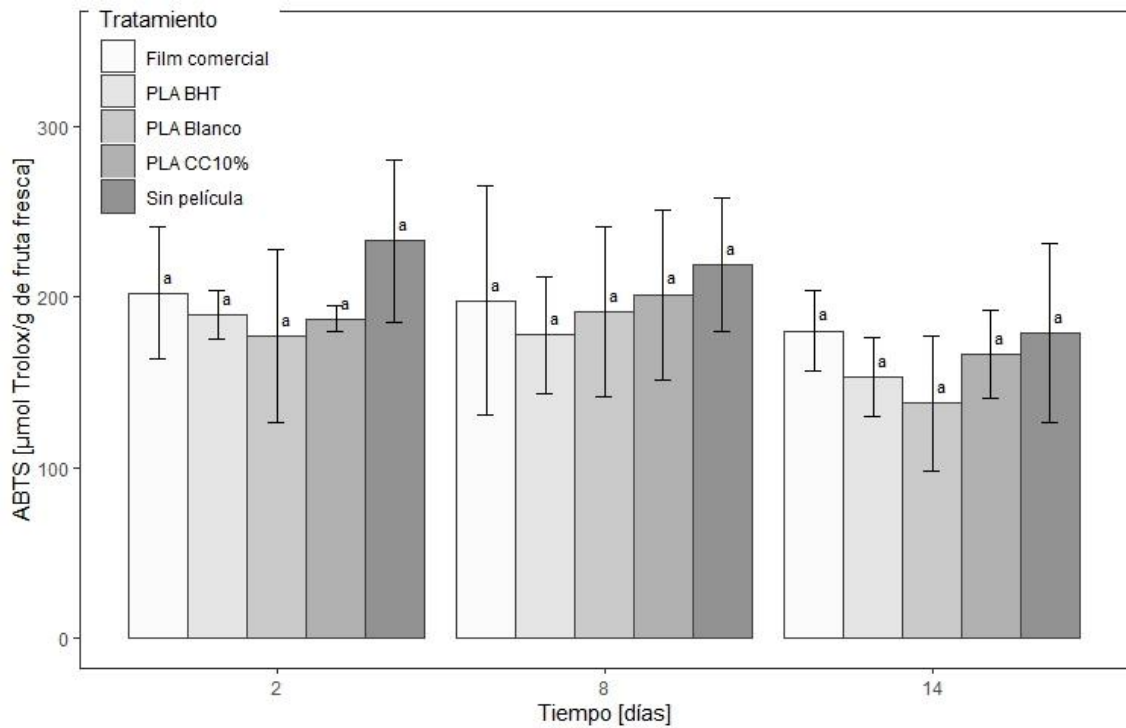
Con respecto a otros estudios, no se obtuvieron valores reportados de la actividad antioxidante determinada por el método de DPPH para frutillas almacenadas en películas activas. De acuerdo con (Débora Fernandes Pinheiro, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leonel Vinicius Constantino, Fernando Teruhiko Hata, Natália Norika Yassunaka Hata, Sebastiao Brasil Campos Lustosa, 2021), la actividad antioxidante reportada según el método de DPPH para frutillas que no han sido sometidas a ningún tratamiento fue de $4,66 \pm 0,10$ [μmol equivalentes de Trolox/g

de fruta fresca]; un valor similar a los resultados obtenidos y que son independientes del tratamiento elegido.

6.1.2.3. Actividad antioxidante, método de 2,2'-azinobis [3- etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de di amonio (ABTS)

Con respecto a la actividad antioxidante determinada por el método de ABTS, los resultados obtenidos de las frutillas almacenadas durante catorce días con condiciones de temperatura y humedad definidas y bajo el tratamiento elegido no demostraron tener diferencias significativas.

(a)



(b)

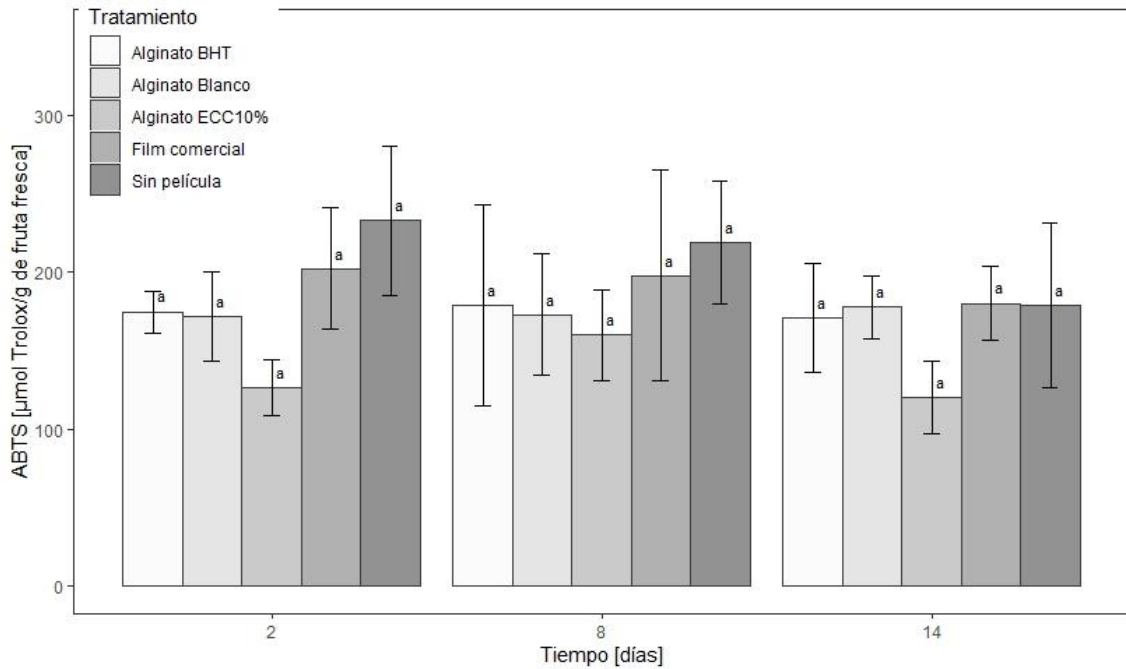


Gráfico 7 Efecto de los tratamientos en la actividad antioxidante de frutillas según el método de ABTS. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar ($n = 3$)

Enfocando la atención en los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos y de acuerdo con el Gráfico 7, los resultados de las frutillas almacenadas en películas tanto en PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) como películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) alcanzaron cantidades de μmol equivalentes de Trolox por gramo de fruta fresca menores, pero no significativamente distintas ($p > 0,05$) a las frutillas que estuvieron almacenadas en film comercial o sin película durante el período de almacenamiento.

De acuerdo con la bibliografía consultada, la actividad antioxidante con respecto a ABTS reportada por (J. Mauricio Peñarrieta, J. Antonio Alvarado, Bjorn Bergenstahl, Bjorn Ákesson, 2009) alcanzó valores desde 8 a 25,9 μmol equivalentes de Trolox/g de fruta fresca los que difieren con los resultados obtenidos en la presente investigación que reportó valores desde 74,47 a 237,61 μmol equivalentes de Trolox/g de fruta fresca (Anexo 8). Esto puede deberse primero porque los resultados reportados por otros autores hacen referencia a frutillas que no fueron sometidas a ningún tratamiento similar al que se utilizó en la presente investigación y a factores como: la variedad de frutilla elegida para trabajar y las condiciones de producción, el proceso de extracción de compuestos fenólicos elegido y la variación en las condiciones de trabajo relacionado al procedimiento del ensayo (tipo de equipos, reactivos, condiciones ambientales).

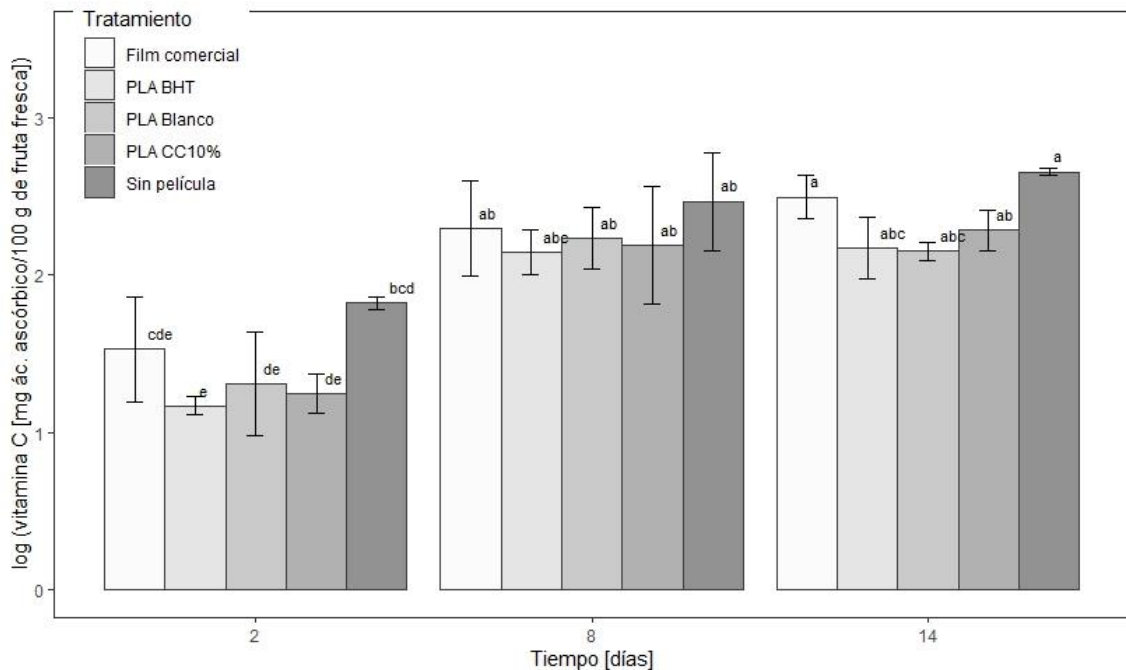
6.1.2.4. Determinación de vitamina C

El ácido ascórbico es uno de los antioxidantes más abundante y presente en las frutillas. Algunos autores indican que el contenido de ácido ascórbico en las frutas disminuye durante el almacenamiento a bajas temperaturas en cambio otros mencionan que el cambio es relativo y puede llegar a mantenerse siempre que exista un buen control de temperatura y humedad. A pesar de los distintos puntos de vista, es una realidad que el cambio y la disminución del contenido de antioxidantes, como el ácido ascórbico, está estrechamente relacionado con los cambios fisicoquímicos que sufren las frutas como resultado de diversos

tratamientos a los que se somete (F.M. Yang, H.M. Li, F. Li, Z.H. Xin, L.Y. Zhao, Y.H. Zheng, Q.H. Hu, 2010).

Los resultados obtenidos de la cantidad de vitamina C en las frutillas almacenadas durante catorce días en condiciones de temperatura y humedad definidas y bajo el tratamiento elegido fueron transformados logarítmicamente para poder realizar el análisis estadístico (Anexo 9), demostrando diferencias significativas tal como se muestra en el Gráfico 8. Las frutas almacenadas en películas de alginato (blanco, BHT y con 10% de extracto de cáscara de castaña) fueron las que presentaron una menor cantidad de log (vitamina C) durante los catorce días; en cambio, las frutillas almacenadas sin película, en film comercial y en películas de PLA (blanco, BHT y con 10% de cáscara de castaña) fueron las que presentaron cantidades superiores de log (vitamina C).

(a)



(b)

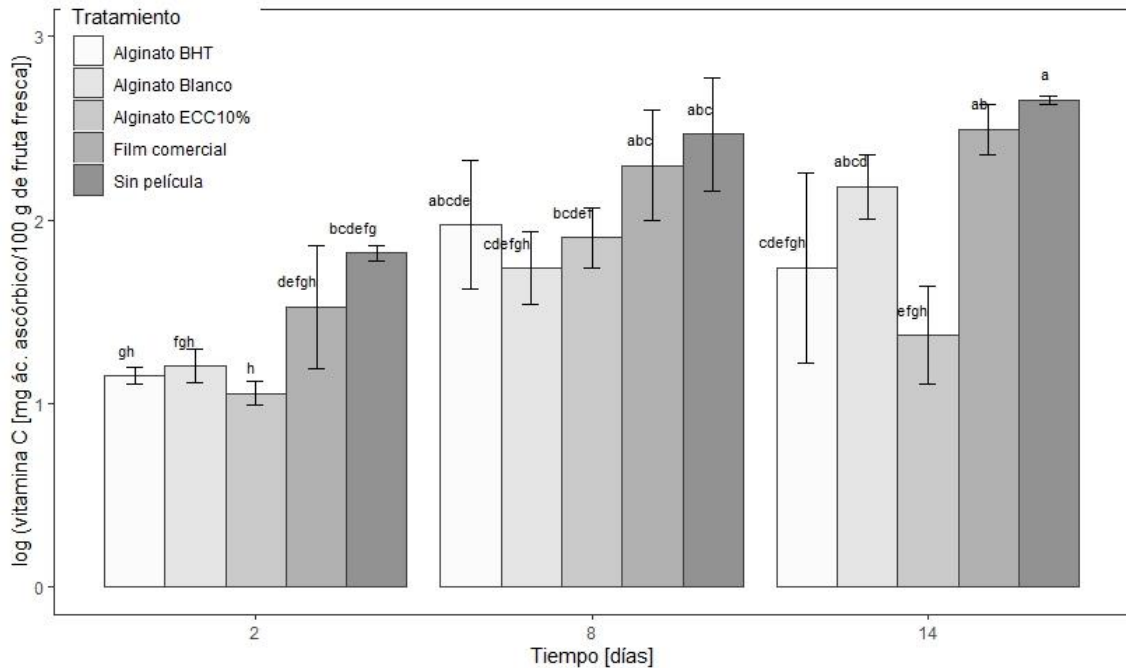


Gráfico 8 Efecto de los tratamientos en el log (vitamina C) de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar ($n = 3$)

Enfocando la atención en los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos, las frutillas almacenadas específicamente en películas de PLA con 10% de cáscara de castaña presentaron cantidades menores de log (vitamina C), pero no significativamente diferentes comparado con las cantidades de log (vitamina C) de frutillas almacenadas en film comercial o sin película. Por otro lado, las frutillas almacenadas en películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña presentaron también cantidades menores de log (vitamina C)

y con diferencias significativas ($p < 0,05$) comparado a las frutillas que estuvieron sin película o en film comercial.

De acuerdo con la bibliografía consultada, la cantidad de vitamina C en frutillas sometidas a un tratamiento con resveratrol post cosecha fue de 28 a 51 mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca según (Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao, 2022); según (Débora Fernandes Pinheiro, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leonel Vinicius Constantino, Fernando Teruhiko Hata, Natália Norika Yassunaka Hata, Sebastiao Brasil Campos Lustosa, 2021), el contenido de vitamina C en frutillas que no han sido sometidas a ningún tratamiento fue de $36,2 \pm 11,79$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca y según (Graziela Nunes, Flávia Teixeira, Kélin Schwarz, Crsitiano Kopanski Camargo, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Elisvania Freitas dos Santos, Bruna Callegari Franco and Daiana Novello, 2021), también para frutillas que no han sido sometidas a ningún tratamiento, el contenido de vitamina C en fue de $19,91 \pm 0,11$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca. Estos valores tuvieron similitud con los resultados obtenidos los primeros dos días de almacenamiento, principalmente en las frutillas correspondientes a las películas de: PLA blanco: desde $19,25 \pm 7,90$ a $23,80 \pm 13,42$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca; PLA BHT: desde $25,46 \pm 2,98$ a $14,82 \pm 2,03$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca; PLA CC10%: desde $31,89 \pm 17,18$ a $18,01 \pm 5,27$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca y a las películas de: alginato blanco: desde $19,77 \pm 4,24$ a $16,31 \pm 3,26$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca; alginato BHT: desde $28,83 \pm 9,23$ a $14,24$

$\pm 1,50$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca y alginato ECC10%: desde $14,41 \pm 0,65$ a $11,44 \pm 1,79$ mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca. A partir del cuarto día se diferenciaron bastante debido al incremento notable de las cantidades de vitamina C alcanzada; esto puede deberse porque los resultados reportados por otros autores hacen referencia a frutillas que no fueron sometidas a ningún tratamiento similar al que se utilizó en la presente investigación y a factores como: la variedad de frutilla elegida para trabajar y las condiciones de producción, el proceso elegido para la extracción de vitamina C y la variación en las condiciones de trabajo relacionado al procedimiento del ensayo. De manera general los resultados obtenidos de las cantidades de vitamina C en las frutillas al finalizar el período de almacenamiento no se aproximan a los valores reportados por otros autores; en frutillas almacenadas sin película y en film comercial se evidencia un comportamiento distinto al demostrado por las frutillas almacenadas en películas activas.

6.2. Evaluación sensorial de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv.

***Camarosa*) almacenadas en películas activas a base de cáscara de castaña**

La evaluación sensorial constituye una parte fundamental en la implementación de un nuevo producto por medio de la predicción de la aceptabilidad que emite cierto grupo del público consumidor, brindando información valiosa obtenida de personal calificado en dichas mediciones.

Las pruebas sensoriales aplicadas a frutillas almacenadas por un período de tiempo formaron parte del estudio realizado a la implementación y uso de nuevos envases para la conservación de fruta. En este contexto, los resultados obtenidos de las etapas previas elegidas para realizar la evaluación de manera satisfactoria por parte de un público consumidor específico fueron los siguientes:

6.2.1. Reclutamiento de participantes

La publicación física y virtual del afiche informativo se realizó en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Concepción y por medio de las redes sociales de colaboradores del proyecto, alcanzando a registrar cien interesados que luego de leer y aceptar el consentimiento informado, eligieron el horario de su conveniencia para someterse a las pruebas sensoriales descritas en el protocolo.

6.2.2. Selección de participantes

La participación en las pruebas sensoriales fue menor al número de interesados y registrados previamente. De un total de cien interesados, solo cuarenta y ocho personas entre alumnos y académicos de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Concepción hicieron efectiva su presencia. Luego del período de participación, se calificaron los resultados dando finalmente a los seleccionados para continuar con el proceso de entrenamiento y evaluación final. Veinte participantes fueron los elegidos debido al buen desempeño demostrado en las pruebas sensoriales, resolviendo todas las pruebas sin error.

6.2.3. Entrenamiento de participantes

El entrenamiento de los veinte seleccionados para continuar con el proceso estuvo dividido en sesiones que consistieron primero en la explicación de lo que es una evaluación sensorial donde participa un jurado calificador entrenado y segundo en la explicación de las características organolépticas de las frutillas en sus distintas etapas de maduración y que están relacionadas con los períodos de almacenamiento comercial y almacenamiento para ser consumidas. Durante la sesión de explicación de las características organolépticas se dio a conocer la tabla que contenía una escala hedónica de siete puntos que se utilizó para evaluar a cada una de las frutillas entregadas a los participantes, junto con esta tabla se definieron los descriptores que se detallan en la Tabla 3 para cada puntaje de la escala que permitieron realizar la evaluación de forma homogénea entre los dieciséis participantes.

Tabla 6 Descriptores para la evaluación de las frutillas

CARACTERÍSTICA	DESCRIPTORES DE ACUERDO CON LA CALIFICACIÓN
SENSACIÓN EN LA BOCA	(7) Jugoso (6) Refrescante (5) Fruncido (similar a ácido) (4) "Reseco", "Talco" (3) Secante (2) Efervescente (1) Viscoso, Baboso
TEXTURA	(7) Firme (blanda) (6) Firme (dura) (5) Blanda (4) "Harinoso" (3) "Granuloso" (2) "Puré de plátano" (1) "Derretido"

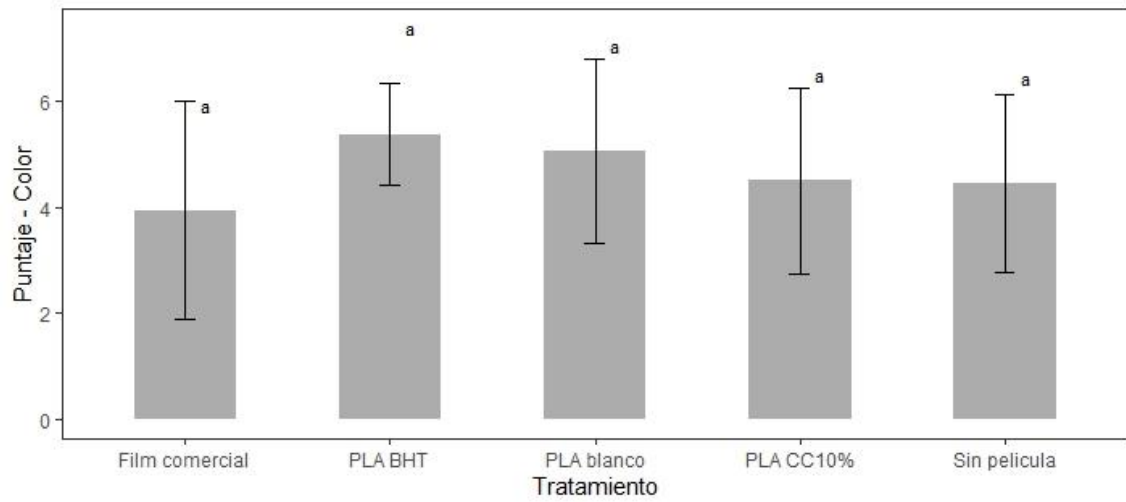
GUSTO	(7) Dulce (6) Dulce ácido (5) Ácido (4) Amargo
OLOR	(7) Dulce intenso/caramelo/Olor a frutilla (6) Dulce leve/Nota 7 en menor intensidad (5) Dulce con notas ácidas (4) Sin olor/No hay olor a frutilla (3) Ácido fermentado (2) Fermentado/Picante/Leve olor a moho (1) Moho/Humedad/Tierra/"Encierro"
COLOR	(7) Rojo brillante, intenso, homogéneo (6) Rojo "borgoña", homogéneo (5) Rojo intenso, heterogéneo (4) Rojo, verdoso, con zonas amarillas, heterogéneo (3) Violeta rojizo heterogéneo/Pálido/Descolorado (2) Violeta Opaco, heterogéneo (1) Café/Amarillo grisáceo

Fuente: Elaboración en conjunto, sesiones de entrenamiento

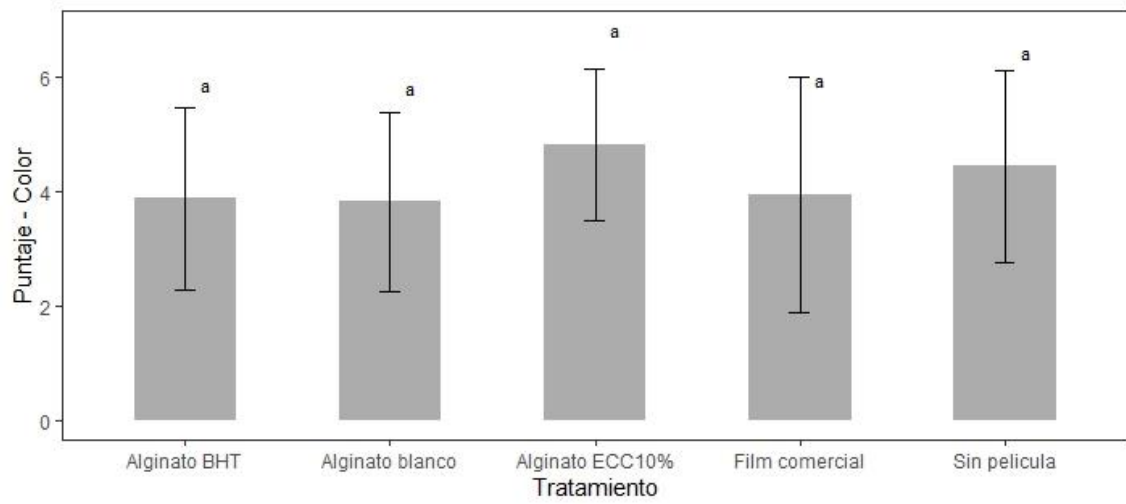
6.2.4. Evaluación final

Las frutillas evaluadas fueron almacenadas por cinco días a una temperatura y humedad relativa definidas y fueron entregadas a cada participante bajo códigos aleatorios asignados de acuerdo con el tipo de envase en el que estuvieron almacenadas. Los resultados obtenidos de las pruebas sensoriales y que se muestran en el Gráfico 9 demostraron que no existen diferencias significativas en las características organolépticas entre las frutillas almacenadas en películas activas frente a frutillas almacenadas en películas comerciales o estando sin películas.

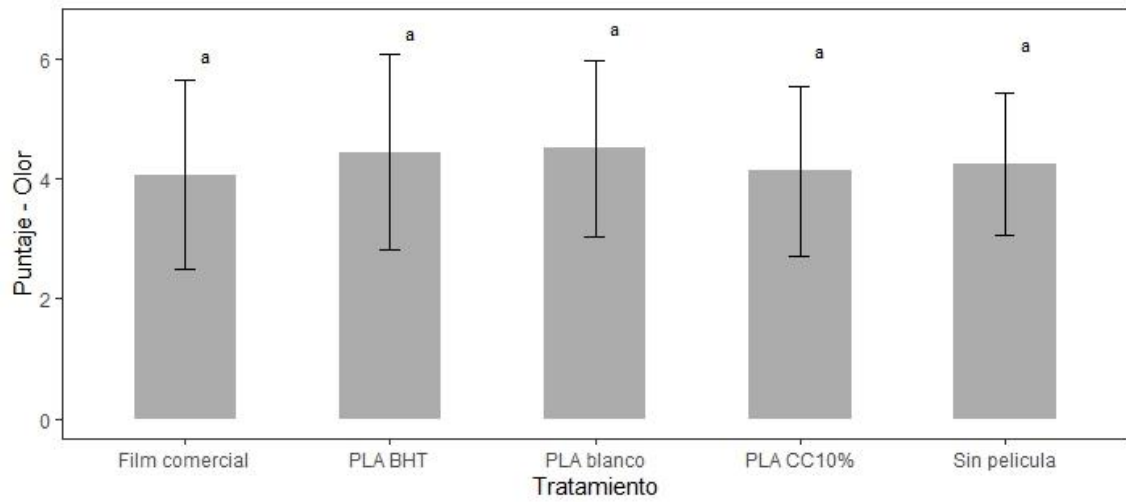
(a)



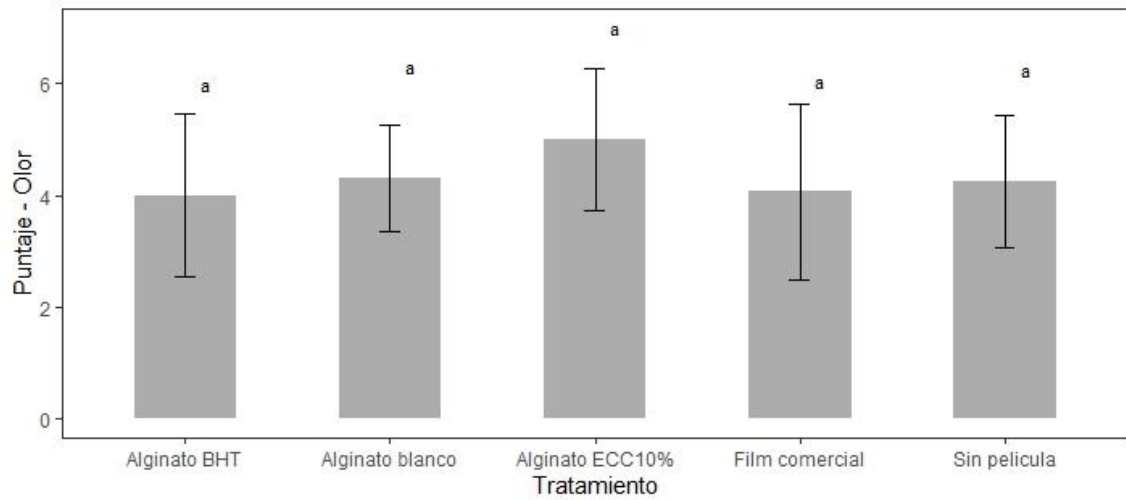
(b)



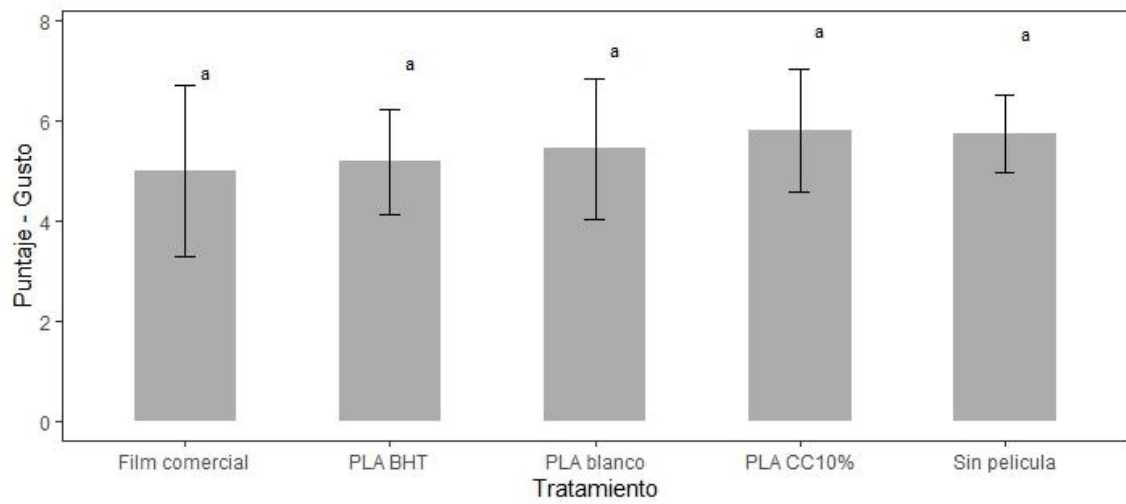
(a)



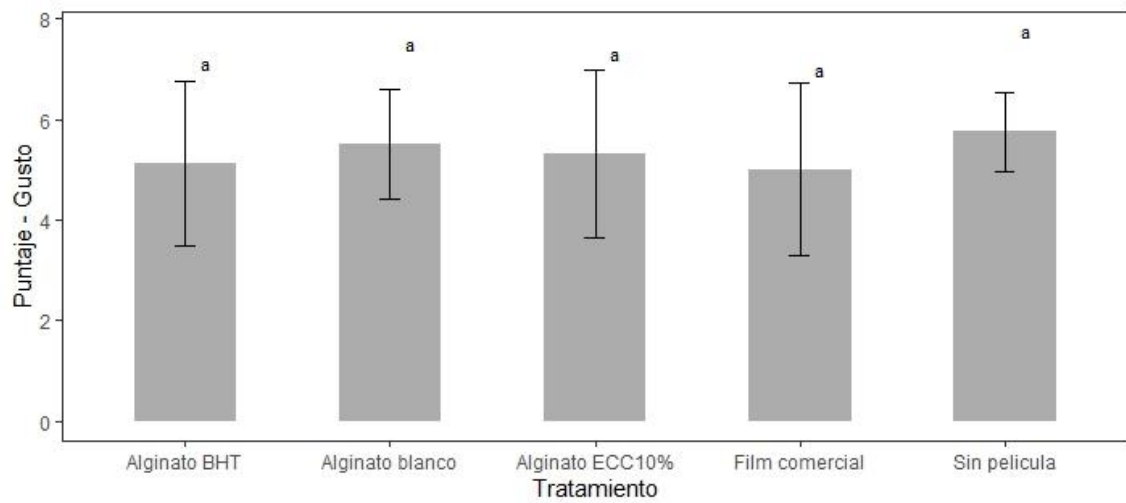
(b)



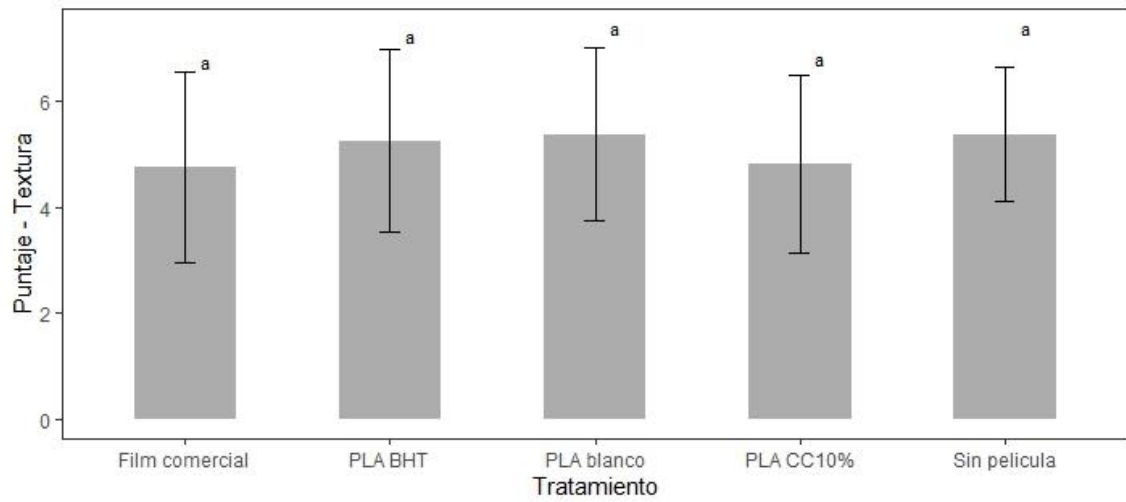
(a)



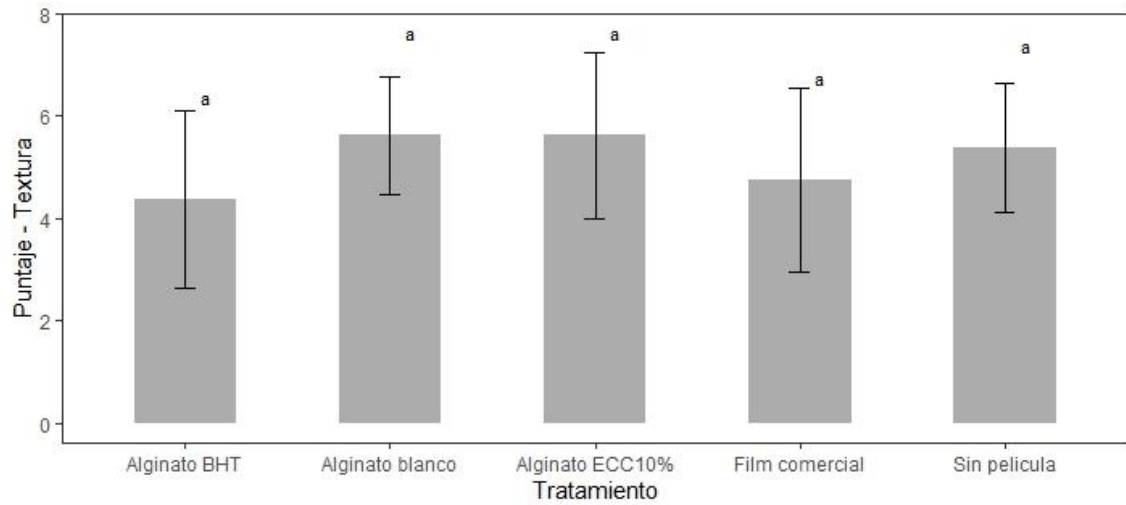
(b)



(a)



(b)



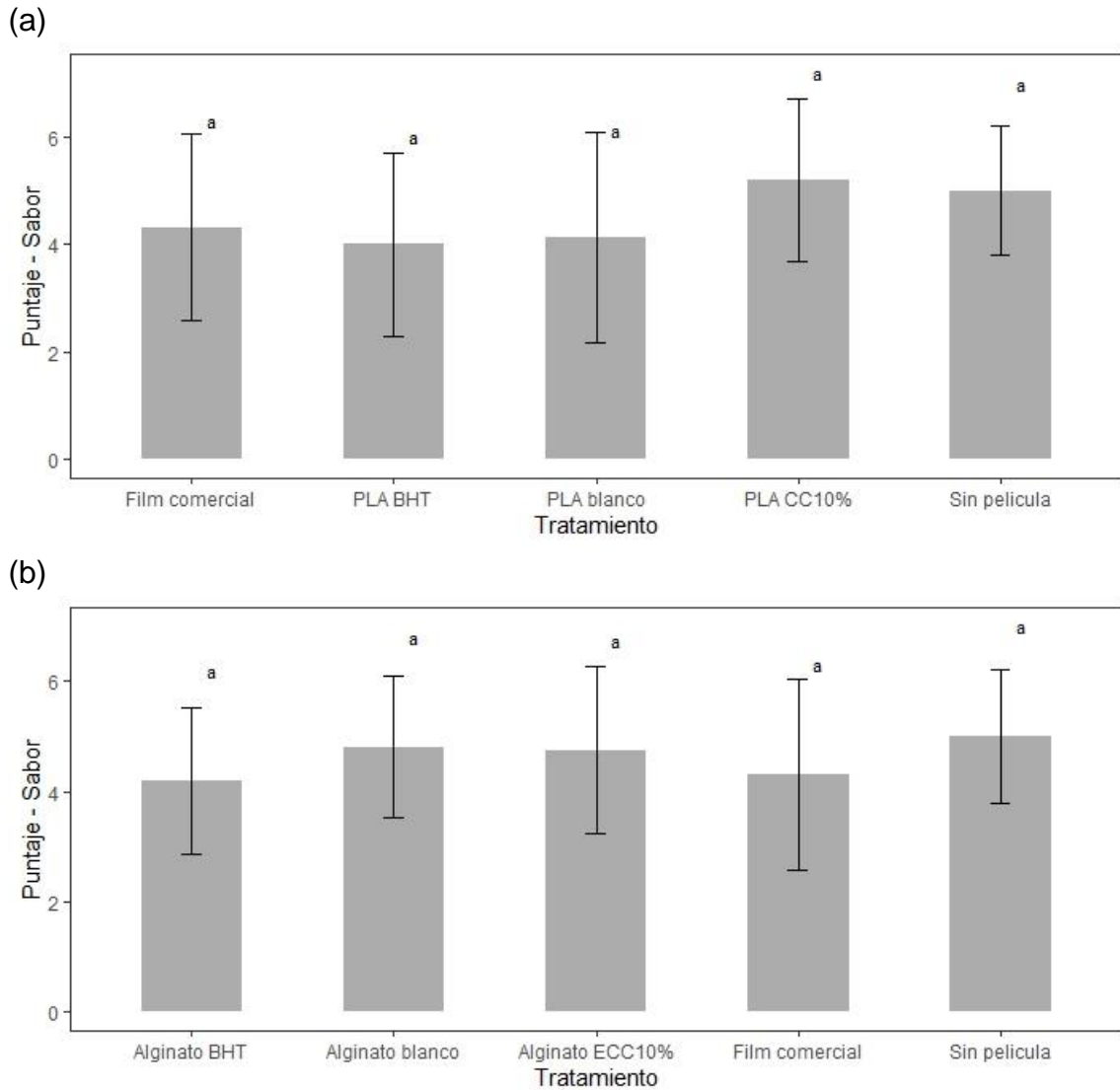


Gráfico 9 Efecto de los tratamientos en las características organolépticas de frutillas. (a) Frutillas almacenadas en película de PLA; (b) Frutillas almacenadas en películas de alginato. Los datos presentados representan las medias \pm desviación estándar (n = 16)

Los resultados en las películas de alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña, en características como color, olor y textura, las frutillas almacenadas

en este tipo de envase obtuvieron muy buenos resultados de aceptabilidad: $4,8 \pm 1,3$; $5,0 \pm 1,3$ y $5,6 \pm 1,6$ correspondiente a frutillas de color rojo intenso heterogéneo, olor dulce leve y con una textura entre firme (dura) y blanda. Con respecto a las películas de PLA con 10% de cáscara de castaña, en características como gusto y sabor, las frutillas almacenadas en este tipo de envase también obtuvieron muy buenos resultados de aceptabilidad: $5,8 \pm 1,2$ y $5,2 \pm 1,5$ correspondiente a frutillas con gusto entre dulce y dulce ácido. De acuerdo con la bibliografía consultada y en relación al sabor de las frutillas, quizás la característica más importante con respecto a una evaluación sensorial (la mayoría de los consumidores prefieren frutillas dulces y jugosas), la intensidad del dulzor es el mayor impulsor del sabor (Débora Fernandes Pinheiro, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leonel Vinicius Constantino, Fernando Teruhiko Hata, Natália Norika Yassunaka Hata, Sebastiao Brasil Campos Lustosa, 2021). En este sentido, los autores mencionan que existe una relación estrecha entre las cantidades de azúcares reportados y la aceptabilidad de la fruta por parte de los consumidores. Además, ellos mencionan que el contenido de azúcar varía en las frutas dependiendo el estado de madurez, la edad de la planta, la calidad del suelo donde fue cultivado, las condiciones climáticas, el origen geográfico del fruto, entre otros. Por lo tanto, en las frutillas, la relación entre los azúcares como la glucosa, fructosa y sacarosa determinan el índice de dulzor y sabor, siendo la fructosa el azúcar principal y responsable de esta característica ya que normalmente aparece en mayores concentraciones al final del período de

maduración de la fruta (Débora Fernandes Pinheiro, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leonel Vinicius Constantino, Fernando Teruhiko Hata, Natália Norika Yassunaka Hata, Sebastiao Brasil Campos Lustosa, 2021). Con respecto a los resultados obtenidos de la evaluación sensorial del presente trabajo y la relación que pueden tener éstos con las concentraciones de azúcar, no se puede hacer una comparación debido a que no se realizaron pruebas que determinen las cantidades de azúcares presentes en las frutillas evaluadas. Sin embargo y de acuerdo con los puntajes otorgados por el panel evaluador y relacionado con los descriptores establecidos, los resultados permitieron deducir que las frutillas entregadas, principalmente aquellas que estuvieron almacenadas en las películas activas (PLA con 10% de cáscara de castaña y alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña) (Anexo 10), presentaron una coloración roja heterogénea, blandas al tacto y dulces con notas ácidas, características similares a las frutillas que estuvieron almacenadas en film comercial, demostrando que las películas activas conservaron las características organolépticas de las frutillas y permitiendo una buena aceptación sensorial.

Con respecto al análisis estadístico, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos elegidos ($p > 0,05$).

7. CONCLUSIONES

El avance en el desarrollo de envases activos que contemplan la combinación de subproductos agroindustriales con la matriz polimérica para posteriormente entrar en contacto con frutas está generando una cantidad importante de información relacionada con la obtención de materiales poliméricos con propiedades físicas, mecánicas y de barrera mejoradas.

Los resultados obtenidos con respecto a los cambios en las propiedades fisicoquímicas (pérdida de peso, firmeza, color, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante DPPH y ABTS, vitamina C) de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) durante catorce días indicaron que las películas activas, sobre todo las películas de PLA con 10% de cáscara de castaña, contribuyeron en la conservación óptima de la fruta durante la mayor parte del período de almacenamiento siendo evidente un proceso de maduración más lento, disminuyendo la pérdida de humedad y provocando una pérdida de peso menor, conservando la firmeza y logrando mantener la presencia de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en niveles adecuados.

Con respecto a los resultados de las pruebas sensoriales a las frutillas almacenadas en ambos tipos de películas activas, PLA con 10% de cáscara de castaña y alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña, se demostró tener buena aceptabilidad entre el público consumidor reafirmando haber logrado hasta el quinto día de almacenamiento una buena conservación de la calidad de las frutas y reduciendo el deterioro de las mismas.

De manera general, los resultados demostraron que el uso de los dos tipos de películas activas, PLA con 10% de cáscara de castaña y alginato con 10% de extracto de cáscara de castaña, fueron eficientes y satisfactorios frente a resultados obtenidos de las frutillas almacenadas en film comercial y sin película. De acuerdo con las hipótesis iniciales, el uso de envases activos desarrollados a partir de PLA y alginato combinados con harina fina de cáscara de castaña y extracto de cáscara de castaña conservan las propiedades saludables de frutillas (*Fragaria x ananassa* Dutch. cv. *Camarosa*) y mantienen o incrementan la aceptabilidad de las mismas por parte del consumidor, demostrándose que ambos envases son una alternativa viable al uso de envases plásticos tradicionales.

Con respecto a los objetivos de estudio del presente trabajo, la utilización de envases activos representa una alternativa apropiada para preservar la calidad y reducir el deterioro post cosecha de frutillas, permitiendo avanzar y aplicar esta tecnología a mayor escala con una mirada en el futuro.

Es importante mencionar que aún se pueden hacer mejoras en los envases activos considerando algunas modificaciones en las formulaciones y la opinión del consumidor, todo con el fin de diversificar el uso de los mismos y sean aceptados como una nueva tecnología en el área de los envases para productos alimenticios.

8. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Obtenido de www.eldiario.es/consumoclaro/comer/curiosidades-castanas-sorprenderan_1_1157840.html

Ana Carolina Almeida Miguel, Joao Ricardo Pecini Stein Dias, Silvana Albertini, Marta Helena Fillet Spoto. (2009). Pos-colheita de uva "Italia" revestida com filmes a base de alginato de sodio e armazenada sob refrigeracao. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 29(2): 277-282.

Andrade, M.A.; Barbosa, C.H.; Mariño-Cortegoso, S.; Barbosa-Pereira, L.; Sendón, R.; Buonocore, G.G.; Stanzione, M.; Coelho, A.; Correia, C.B.; Saraiva, M.; et al. (2023). LDPE and PLA Active Food Packaging Incorporated with Lemon by-Products Extract: Preparation, Characterization and Effectiveness to Delay Lipid Oxidation in Almonds and Beef Meat. *Foods*. doi:<https://doi.org/10.3390/>

Carolina Parra-Palma, Luis Morales-Quintana, Patricio Ramos. (2020). Phenolic content, color development, and pigment-related gene expression: a comparative analysis in different cultivars of strawberry during the ripening process. *Agronomy*. doi:[10.3390/agronomy10040588ww](https://doi.org/10.3390/agronomy10040588ww)

Changhong Liu, Tao Jin, Wei Liu, Wenzhuo Hao, Ling Yan, Lei Zheng. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT - Food Science and Technology*, 148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111770>

Cheng Zhang, Wenhui Li, Bifen Zhu, Haiyan Chen, Hai Chi, Lin Li, Yuyue Qin, Jing Xue. (2018). The Quality Evaluation of Postharvest Strawberries Stored in Nano-Ag Packages at Refrigeration Temperature. *Polymers*. doi:10.3390/polym10080894

ciencias.uautonoma.cl. (s.f.). Obtenido de <https://ciencias.uautonoma.cl/noticias/investigadores-de-la-universidad-autonoma-en-talca-buscan-entender-como-los-pigmentos-antocianinas-afectan-las-caracteristicas-de-las-frutillas>

Débora Fernandes Pinheiro, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leonel Vinicius Constantino, Fernando Teruhiko Hata, Natália Norika Yassunaka Hata, Sebastiao Brasil Campos Lustosa. (2021). Physical, biochemical, and sensory properties of strawberries grown in high-altitude tropical climate. *Food Science and Technology*. doi:http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202145008221

Decheng Bi, Xu Yang, Lijun Yao, Zhangli Hu, Hui Li, Xu Xu, Jun Lu. (2022). Potential Food and Nutraceutical Applications of Alginate: A Review. *Marine Drugs*. doi:https://doi.org/10.3390/

Diario, E. (s.f.). Obtenido de https://www.eldiario.es/consumoclaro/comer/curiosidades-castanas-sorprenderan_1_1157840.html

Dong Li, Xiaochen Zhang, Li Li, Morteza Soleimani Aghdam, Xianxue Wei, Jiaqi Liu, Yanqun Xu, Zisheng Luo. (2019). Elevated CO₂ delayed the chlorophyll degradation and anthocyanin accumulation in postharvest strawberry fruit. *Food Chemistry*(285), 163-170. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.150

Eguiller Recabarren, P. M. (2019). Pérdida y desperdicio de alimentos en el sector agrícola: avances y desafíos Febrero de 2019.

F.M. Yang, H.M. Li, F. Li, Z.H. Xin, L.Y. Zhao, Y.H. Zheng, Q.H. Hu. (2010). Effect of Nano-Packing on Preservation Quality of Fresh Strawberry (*Fragaria Ananassa* Duch. cv Fengxiang) during Storage at 4°C. *Journal of Food Science*. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01520.x

Graziela Nunes, Flávia Teixeira, Kélin Schwarz, Crsitiano Kopanski Camargo, Juliano Tadeu Vilela de Resende, Elisvania Freitas dos Santos, Bruna Callegari Franco and Daiana Novello. (2021). Influence of genetic variability on the quality of strawberry cultivars: sensorial, physical-chemical and nutritional characterization. *Acta Scientiarum*. doi:10.4025/actasciagron.v43i1.46862

Hege Dysjaland, Izumi Sone, Estefanía Noriega Fernández, Morten Sivertsvik, Nusrat Sharmin. (2022). Mechanical, Barrier, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Alginate Films: Effect of Seaweed Powder and Plasma-Activated Water. *Molecules*. doi:doi.org/10.3390/

International Organization for Standardization. (s.f.). ISO 4120.

International Organization for Standardization. (s.f.). UNE-EN ISO 11136.

International Organization for Standardization. (s.f.). UNE-EN ISO 8586.

International Organization for Standardization. (s.f.). UNE-ISO 4121.

- J. Mauricio Peñarrieta, J. Antonio Alvarado, Bjorn Bergenstahl, Bjorn Ákesson. (2009). Total Antioxidant Capacity and Content of Phenolic Compounds in Wild Strawberries (*Fragaria vesca*) Collected in Bolivia. *International Journal of Fruit Science*, 9: 344-359. doi:10.1080/15538360903378526
- J.C.M. Barreira, I.C.F.R. Ferreira, M.B.P.P. Oliveira, J.A. Pereira. (2010). Antioxidant Potential of Chestnut (*Castanea sativa* L.) and Almond (*Prunus dulcis* L.) By-products. *Food Science and Technology International*, 16:209. doi:10.1177/1082013209353983
- Jolanta Kowalonek, Natalia Stachowiak, Kinga Bolczak, Agnieszka Richert. (2023). Physicochemical and Antibacterial Properties of Alginate Films Containing Tansy (*Tanacetum vulgare* L.) Essential Oil. *Polymers*. doi:doi.org/10.3390/polym15020260
- Laylla Marques Coelho, Carla Faria, Daniel Madalena, Zlatina Genisheva, Joana T. Martins, António A. Vicente, Ana C. Pinheiro. (2022). Valorization of Amaranth (*Amaranthus cruentus*) Grain Extracts for the Development of Alginate-Based Active Films. *Molecules*. doi:doi.org/10.3390/molecules27185798
- Le Pham Tan Quoc. (2020). Effect of alginate coating on the quality of fresh-cut muskmelon fruit (*Cucumis Melo* L.). 30, 179-186. Obtenido de www.studiauniversitatis.ro
- Magdaléna Rusková, Alena Opálková Sisková, Katarína Mosnácková, Custódia Gago, Adriana Guerreiro, Mária Bucková, Andrea Puskárová, Domenico Pangallo, Maria

- Dulce Antunes. (2023). Biodegradable Active Packaging Enriched with Essential Oils for Enhancing the Shelf Life of Strawberries. *Antioxidants*, 12(755). doi:<https://doi.org/10.3390/>
- Meiyi Hu, Xiaokuan Yang, Xuedong Chang. (2020). Bioactive phenolic components and potential health effects of chestnut shell: A review. *Journal of Food Biochemistry*. doi:10.1111/jfbc.13696
- Mena Roa, M. (30 de Junio de 2021). Statista. Obtenido de <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>
- Moreira, D.; Gullón, B.; Gullón, P.; Gomes, A.; Tavaría, F. (2016). Bioactive packaging using antioxidant extracts for the prevention of microbial food-spoilage. *Food Funct*, 3273-3282.
- Muller, J. (2017). Active Films for Food Packaging Based on Poly(lactic) Acid and Starch. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.
- Paulo Rogerio Siriano Borges, Merete Edelenbos, Erik Larsen, Thais Hernandez, Elisangela Elena Nunes, Eduardo Valerio de Barros Vilas Boas, Caroline Roberta Freitas Pires. (2022). The bioactive constituents and antioxidant activities of ten selected Brazilian Cerrado fruits. *Food Chemistry: X*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100268>

- Pazmiño, A., Campuzano, A., Marín, K., Coronel, J., & Salazar, R. (2022). Evaluation of PLA active biodegradable films incorporated of essential oils to inhibit microbial adhesion. *La Granja: Revista de ciencias de la vida*, 18-31.
- Pilar Macarena Eguillor Recabarren. (Febrero de 2019). Pérdida y desperdicio de alimentos en el sector agrícola: avances y desafíos. Oficina de estudios y políticas agrarias. Obtenido de www.odepa.gob.cl
- Rafael E. González-Cuello, Lena B. Morón-Alzazar, Jaime Pérez-Mendoza. (2022). Low acyl gellan gum-based coatings containing α -pinene and cranberry extract for preserving strawberry postharvest quality. *Información Tecnológica*, 33(5): 93-102. doi:[dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000500093](https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000500093)
- Rafael E. González-Cuello, Stephanie Restrepo, Yellys Anaya, Luis Garcia-Zapateiro. (2022). Effect of aqueous laurel extract binary coating on the postharvest quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Información Tecnológica*, 33(3): 213-222. doi:[dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000300213](https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000300213)
- Rhim, J. W.; Hong, S. I.; Ha, C. S. . (2009). Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films. *LWT - Food Science Technology*, 612-617.
- Rojas Lema, S. P. (2022). Desarrollo y optimización de nuevas formulaciones de biopolímeros con principios activos para aplicaciones en el sector envase-embalaje. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.

Sara Martillanes, Javier Rocha-Pimienta, Manuel Cabrera-Bañegil, Daniel Martín-Vertedor, Jonathan Delgado-Adámez. (2017). Application of Phenolic Compounds for Food Preservation: Food Additive and Active Packaging. doi:dx.doi.org/10.5772/66885

Statista Research Department. (22 de Septiembre de 2023). Statista. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1125464/capacidad-global-de-produccion-de-bioplasticos-por-sector/>

Statista Research Department. (22 de septiembre de 2023). Statista. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1125454/tipos-de-biopolimeros-producidos-a-nivel-mundial/>

Ting-Ting Fan, Jing Zhang, Jun-Xuan Cao, Ming-Hui Xia, Tong Wang, Shuqing Cao. (2022). Effects of resveratrol treatment on quality and antioxidant properties of postharvest strawberry fruit. *Journal of Food Biochemistry*. doi:10.1111/jfbc.14176

Valentina Chiabrando, Luigi Garavaglia, Giovanna Giacalone. (2019). The Postharvest Quality of Fresh Sweet Cherries and Strawberries with an Active Packaging System. *Foods*.

Zheng Y., Wang S., Wang Y., Zheng W. (2007). Changes in strawberry phenolics anthocyanins and antioxidant capacity in response to high oxygen treatments. *40(1): 49-57*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.013>

ANEXOS

Anexo 1 Afiche informativo



PRESELECCIÓN EVALUADORES PARA ANÁLISIS SENSORIAL DE FRUTILLAS

¡Ven a participar de este entretenido estudio!

¡Lo único que se necesita es ganas de participar!
(y que no seas alérgico a las Frutillas, a las Castañas o alginato)

Si deseas conocer más acerca del estudio, contacta al Prof. Cristian Rogel Castillo^[1]
(crogel@udec.cl)

SI DESEAS PARTICIPAR DE LA ETAPA DE PRESELECCIÓN, COMPLETA EL FORMULARIO DISPONIBLE EN EL QR (CONSENTIMIENTO INFORMADO Y ENCUESTA)

Proyecto FONDECYT de iniciación 11180862

[1] Información de contacto: Teléfono oficina: 412203051. Dirección: Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 3er piso, Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción (Al frente de la "bañera").



Anexo 2 Valores promedio del porcentaje de pérdida de peso [%]

Tratamiento	Días													
	2		4		6		8		10		12		14	
	$\overline{\%PP} \pm d.e$		$\overline{\%PP} \pm d.e$		$\overline{\%PP} \pm d.e$		$\overline{\%PP} \pm d.e$		$\overline{\%PP} \pm d.e$		$\overline{\%PP} \pm d.e$		$\overline{\%PP} \pm d.e$	
Sin película	5,66	0,39	8,66	1,48	12,78	0,84	21,25	4,67	25,34	6,18	29,49	1,79	36,32	1,77
Film comercial	2,49	0,69	2,86	0,70	4,14	0,53	4,24	0,30	6,04	2,42	5,97	1,82	5,84	2,14
PLA Blanco	1,94	0,45	3,13	0,20	4,58	0,86	4,93	0,79	7,24	1,30	8,78	0,91	10,37	0,99
PLA BHT	1,77	0,09	3,94	0,43	4,39	0,80	5,92	1,71	6,83	1,21	8,62	1,85	8,03	0,28
PLA CC10%	2,36	0,16	3,64	0,86	5,45	1,86	6,51	1,34	8,68	3,38	9,53	0,46	10,31	0,80
Alginato Blanco	8,28	3,50	15,96	6,48	16,44	5,86	27,47	5,12	25,25	3,70	32,79	7,04	33,98	1,00
Alginato BHT	6,53	1,64	12,96	6,46	14,16	1,19	18,63	5,28	25,03	4,49	28,83	5,83	26,98	1,85
Alginato ECC10%	7,00	3,13	13,52	3,63	16,65	2,36	20,05	4,33	31,08	3,95	25,67	3,95	36,06	4,64

Anexo 3 Valores promedio de cambio de color

Tratamiento	Días													
	2		4		6		8		10		12		14	
	$\overline{CC} \pm d.e$		$\overline{CC} \pm d.e$		$\overline{CC} \pm d.e$		$\overline{CC} \pm d.e$		$\overline{CC} \pm d.e$		$\overline{CC} \pm d.e$		$\overline{CC} \pm d.e$	
Sin película	7,47	4,06	7,60	1,74	8,92	2,43	10,19	2,28	10,40	1,49	8,23	0,35	6,34	3,17
Film comercial	12,59	2,15	12,16	5,61	11,39	5,04	8,67	4,01	10,07	3,06	10,34	3,67	9,19	1,42
PLA Blanco	10,69	1,14	12,07	1,18	8,19	2,60	12,27	1,54	11,12	4,13	10,60	4,55	9,88	2,02
PLA BHT	8,51	2,50	8,95	0,92	9,23	7,06	7,54	1,12	9,43	3,19	9,53	1,53	7,14	0,93
PLA CC10%	10,36	3,03	10,90	3,31	9,06	4,57	9,47	1,93	7,08	2,38	8,44	1,43	11,67	3,65
Alginato Blanco	8,63	2,67	7,80	0,87	6,32	2,68	8,33	0,84	7,15	4,70	6,13	2,85	9,93	2,22
Alginato BHT	6,49	1,16	8,60	1,32	9,84	4,34	8,31	0,58	7,45	2,01	6,79	1,37	8,94	2,12
Alginato ECC10%	8,04	2,56	7,29	2,53	7,30	3,57	7,82	1,93	8,33	3,96	8,00	0,61	7,18	1,93

Anexo 4 Valores promedio de cromaticidad

Tratamiento	Días															
	0		2		4		6		8		10		12		14	
	$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$		$\overline{Croma} \pm d.e$	
Sin película	34,41	5,22	39,75	1,65	38,16	2,56	40,12	1,41	37,38	1,25	35,06	4,25	37,85	0,50	37,32	2,79
Film comercial	37,95	7,41	38,46	4,81	38,10	3,12	31,46	1,07	41,72	3,54	37,00	0,49	38,71	3,72	36,74	2,63
PLA Blanco	34,59	3,43	33,18	3,78	31,77	8,12	35,40	6,96	38,09	3,92	32,55	6,98	33,66	5,03	34,72	5,18
PLA BHT	35,82	4,23	35,97	4,50	34,76	2,77	38,21	1,10	39,55	3,42	35,83	5,89	31,68	2,78	37,97	4,21
PLA CC10%	31,94	2,34	39,18	3,21	39,14	3,66	38,41	3,35	38,20	2,14	32,23	3,00	35,70	0,49	40,13	4,52
Alginato Blanco	37,43	3,60	36,88	4,01	38,29	4,84	37,63	7,59	33,05	0,45	33,28	4,29	38,21	0,37	34,65	6,09
Alginato BHT	34,94	2,41	33,42	2,29	35,00	4,28	41,96	2,14	35,48	4,66	35,01	4,45	34,71	2,35	39,34	1,53
Alginato ECC10%	37,58	2,07	32,27	1,85	33,42	4,25	34,72	2,86	41,50	2,48	31,80	2,80	35,14	4,70	39,34	3,33

Anexo 5 Valores promedio de firmeza [kg/cm²]

Tratamiento	Días													
	2		4		6		8		10		12		14	
	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$	$\bar{Firm} \pm d.e$
Sin película	1,47	0,21	1,57	0,35	1,47	0,29	1,27	0,23	1,10	0,78	1,00	0,53	0,80	0,52
Film comercial	1,40	0,36	1,23	0,15	1,63	0,38	1,63	0,12	1,73	0,25	1,67	0,55	1,67	0,15
PLA Blanco	1,97	0,55	1,40	0,10	2,13	0,64	1,40	0,17	1,83	0,57	1,10	0,17	1,33	0,35
PLA BHT	1,43	0,40	1,43	0,06	1,50	0,26	1,65	0,21	1,60	0,20	1,53	0,32	1,67	0,42
PLA CC10%	1,50	0,50	1,53	0,21	1,80	0,00	1,53	0,06	1,30	0,26	1,50	0,00	1,63	0,12
Alginato Blanco	1,50	0,17	1,13	0,81	1,17	0,68	0,73	0,58	1,40	0,17	1,33	0,58	0,87	0,51
Alginato BHT	1,27	0,24	1,53	0,06	1,77	0,21	1,33	0,06	1,47	0,21	0,73	0,58	0,83	0,57
Alginato ECC10%	1,34	0,27	1,00	0,70	1,33	0,29	1,73	0,46	1,55	0,21	1,45	0,07	1,35	0,21

Anexo 6 Valores promedio de la cantidad de compuestos fenólicos totales [mg ác. gálico/g de fruta fresca]

Tratamiento	Días															
	0		2		4		6		8		10		12		14	
	$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$		$\overline{CFT} \pm d.e$	
Sin película	17,12	3,70	18,13	1,34	14,99	1,10	15,57	2,69	14,37	2,76	14,19	1,86	11,35	2,38	11,54	1,38
Film comercial	15,25	2,91	16,16	2,36	16,92	0,43	17,19	2,38	15,43	4,43	14,49	3,33	15,09	0,65	16,84	0,60
PLA Blanco	6,15	2,15	11,66	2,94	11,42	3,31	12,19	4,61	12,74	2,27	12,03	3,13	11,96	1,95	11,41	2,49
PLA BHT	12,06	0,96	13,98	2,76	11,23	3,15	14,20	4,76	12,48	1,24	12,72	2,08	13,36	1,81	14,31	1,00
PLA CC10%	12,46	3,61	15,44	1,27	14,75	3,69	13,59	1,05	12,54	3,06	14,74	3,71	13,94	2,17	13,34	1,88
Alginato Blanco	15,40	2,69	14,33	4,03	10,48	1,63	11,74	3,78	9,63	1,42	10,04	3,86	8,86	3,16	9,92	0,36
Alginato BHT	14,75	1,75	15,20	0,84	11,51	4,21	12,88	1,63	10,53	2,95	11,63	2,17	11,54	2,51	10,20	1,25
Alginato ECC10%	12,17	0,52	12,02	2,33	10,34	1,01	10,75	1,05	9,76	1,48	8,95	0,70	9,92	1,49	7,78	0,98

Anexo 7 Valores promedio de la actividad antioxidante según método de DPPH [$\mu\text{mol Trolox/g}$ de fruta fresca]

Tratamiento	Días													
	0		2		4		8		10		12		14	
	$\overline{DPPH} \pm d.e$		$\overline{DPPH} \pm d.e$		$\overline{DPPH} \pm d.e$		$\overline{DPPH} \pm d.e$		$\overline{DPPH} \pm d.e$		$\overline{DPPH} \pm d.e$		$\overline{DPPH} \pm d.e$	
Sin película	9,62	1,37	14,66	1,37	21,72	1,97	20,61	4,67	15,66	4,11	12,95	2,03	12,05	2,15
Film comercial	8,87	0,42	13,09	0,75	25,53	1,03	22,89	8,10	16,92	3,99	17,66	2,64	20,32	1,00
PLA Blanco	5,85	0,65	9,28	2,94	17,30	4,90	18,60	2,06	14,87	3,91	12,90	1,37	13,29	3,81
PLA BHT	8,09	0,67	11,74	1,82	16,86	4,06	18,92	2,14	15,65	2,75	13,89	2,19	17,50	1,19
PLA CC10%	6,94	1,34	11,86	1,35	21,90	5,73	18,25	4,61	16,13	3,96	12,99	2,18	15,32	2,12
Alginato Blanco	10,06	1,72	10,78	3,08	13,98	2,90	13,69	2,46	10,75	4,33	8,11	3,59	10,65	1,28
Alginato BHT	8,75	0,56	11,22	0,88	16,67	6,22	15,26	4,57	13,07	2,28	10,23	3,17	11,22	1,41
Alginato ECC10%	7,40	0,61	9,19	1,21	14,70	1,68	13,89	2,09	9,13	1,35	9,46	1,15	8,46	2,23

Anexo 8 Valores promedio de la actividad antioxidante según método de ABTS [$\mu\text{mol Trolox/g}$ de fruta fresca]

Tratamiento	Días															
	0		2		4		6		8		10		12		14	
	$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$		$\overline{ABTS} \pm d.e$	
Sin película	233,8	50,4	232,8	47,7	212,5	25,9	144,0	44,77	218,9	39,3	164,9	19,5	119,2	50,5	179,1	52,4
	2	5	5	8	3	4	2		0	0	5	2	6	8	3	9
Film comercial	237,6	59,4	202,2	38,5	201,8	9,38	171,9	96,04	197,7	66,9	151,0	19,3	126,8	12,2	180,1	23,5
	1	5	0	7	1		5		7	7	6	4	4	1	5	9
PLA Blanco	74,47	47,0	177,0	50,3	134,0	26,6	136,5	91,56	191,4	49,9	126,3	55,5	111,1	24,4	137,7	39,3
		4	7	2	2	7	6		6	4	4	8	2	2	2	3
PLA BHT	142,3	11,5	189,5	14,2	135,1	58,2	137,8	108,4	177,6	34,3	149,4	18,0	155,1	14,5	153,3	23,1
	0	9	8	6	8	1	9	7	5	9	6	0	4	8	7	1
PLA CC10%	112,4	79,7	187,0	7,47	201,0	50,6	149,8	94,99	201,4	49,8	164,1	47,2	139,1	26,8	166,5	25,8
	4	6	1		6	0	1		1	1	0	2	2	8	5	7
Alginato Blanco	189,1	9,63	171,6	28,4	146,4	30,5	121,7	78,75	172,7	38,6	124,3	53,0	112,5	42,9	177,5	19,7
	9		9	4	5	6	2		9	1	1	4	6	5	8	7
Alginato BHT	189,6	20,9	174,7	13,3	150,8	65,2	98,45	17,97	179,1	63,8	156,3	33,4	178,0	33,0	170,7	34,4
	3	5	6	3	4	7			3	7	6	8	9	4	0	7
Alginato ECC10%	156,7	36,8	126,5	18,1	123,7	29,1	84,09	32,11	159,9	28,5	115,6	22,4	125,4	18,1	120,3	23,3
	2	8	2	3	3	3			2	8	0	2	1	4	6	0

Anexo 9 Valores promedio de la cantidad de vitamina C [mg ác. ascórbico/100 g de fruta fresca]

Tratamiento	Días															
	0		2		4		6		8		10		12		14	
	$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$		$\bar{VitC} \pm d.e$	
Sin película	239,2 9	139,3 0	66,3 4	6,11 6,11	467,5 6	17,1 8	233,3 9	160,1 9	338,8 1	184,5 9	405,4 5	19,01 19,01	328,5 6	133,8 0	451,3 9	25,1 8
Film comercial	101,2 7	40,11 40,11	41,5 7	33,7 6	278,7 2	62,2 7	232,8 7	39,88 39,88	230,6 9	142,4 9	250,8 0	170,6 0	389,9 5	169,7 4	322,7 8	94,7 7
PLA Blanco	19,25	7,90	23,8 0	13,4 2	108,9 9	32,7 0	160,8 8	108,7 8	181,7 4	74,86 74,86	191,8 1	80,76 80,76	158,6 5	76,57 76,57	141,9 9	17,6 6
PLA BHT	25,46	2,98	14,8 2	2,03 2,03	76,62	22,2 5	139,1 4	42,96 42,96	145,1 3	46,22 46,22	189,8 1	80,09 80,09	221,1 3	55,53 55,53	159,4 2	74,8 2
PLA CC10%	31,89	17,18	18,0 1	5,27 5,27	139,2 7	31,4 1	100,3 7	87,58 87,58	189,4 0	123,6 5	115,2 1	21,12 21,12	213,2 2	64,52 64,52	198,1 1	63,2 7
Alginato Blanco	19,77	4,24	16,3 1	3,26 3,26	94,00	32,8 3	57,68	28,31	58,54	24,35	68,72	70,16	98,52	52,37	161,8 9	70,5 4
Alginato BHT	28,83	9,23	14,2 4	1,50 1,50	92,14	69,9 5	48,27	34,72	114,3 9	74,17	87,57	23,98	178,0 7	107,8 1	81,31	73,4 2
Alginato ECC10%	14,41	0,65	11,4 4	1,79 1,79	52,49	27,4 2	36,25	6,91	84,11	27,94	45,04	5,87	83,10	54,69	26,43	13,8 7

Anexo 10 Valores promedio de las características organolépticas

Tratamiento	$\overline{Color} \pm d.e$		$\overline{Olor} \pm d.e$		$\overline{Gusto} \pm d.e$		$\overline{Textura} \pm d.e$		$\overline{Sabor} \pm d.e$	
Sin película	4,44	1,67	4,25	1,18	5,75	0,77	5,38	1,26	5,00	1,21
Film comercial	3,94	2,05	4,06	1,57	5,00	1,71	4,75	1,81	4,31	1,74
PLA Blanco	5,06	1,73	4,50	1,46	5,44	1,41	5,38	1,63	4,12	1,96
PLA BHT	5,38	0,96	4,44	1,63	5,19	1,05	5,25	1,73	4,00	1,71
PLA CC10%	4,50	1,75	4,12	1,41	5,81	1,22	4,81	1,68	5,19	1,52
Alginato Blanco	3,81	1,56	4,31	0,95	5,50	1,10	5,62	1,15	4,81	1,28
Alginato BHT	3,88	1,59	4,00	1,46	5,12	1,63	4,38	1,75	4,19	1,33
Alginato ECC10%	4,81	1,33	5,00	1,26	5,31	1,66	5,62	1,63	4,75	1,53

Anexo 11 Registro fotográfico

