



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
**MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**TESIS**

**EFFECTO DE UN EMPAQUE BIOACTIVO HECHO A BASE DE ALMIDÓN DE  
CHAYOTEXTLE ADICIONADO CON EXTRACTO DE CÁLIZ DE JAMAICA  
(*HIBISCUS SABDARIFFA*) SOBRE LA CALIDAD DE LA FRESA.**

Para obtener el grado de  
maestro en ciencia de los alimentos

PRESENTA

IBQ. Guadalupe Paola Radilla Serrano

Director

Dr. Apolonio Vargas Torres

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, agosto de 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
Instituto de Ciencias Agropecuarias  
*School of Forestry and Environmental Studies*

COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos  
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada "Efecto de un empaque bioactivo a base de almidón de chayotextle adicionado con extracto de cáliz de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) sobre la calidad de la fresa", que desarrolla la estudiante Radilla Serrano Guadalupe Paola

Asistentes:

Dr. Apolonio Vargas Torres  
Dra. Heidi María Palma Rodríguez  
Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez  
Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Observaciones:

A. Revisión de Trabajo de Tesis

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante, Radilla Serrano Guadalupe Paola, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE  
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"  
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 08 de Agosto de 2022

Dr. Apolonio Vargas Torres

Dra. Heidi María Palma Rodríguez

Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres y a mi familia por todo el apoyo que me dieron durante la elaboración del proyecto.

Al Dr. Apolonio Vargas Torres por dirigir y apoyar el desarrollo de la investigación de este trabajo.

Al cuerpo académico de aprovechamiento de polímeros de interés alimentario conformado por Dr. Apolonio Vargas Torres, Dra. Heidi María Palma Rodríguez, Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez, y Dr. Juan Pablo Hernández Uribe, por su contribución en la tesis.

A la M.C. Sylvia Rosales Chimal por su apoyo y acompañamiento durante el desarrollo del proyecto.

Agradezco a CONACYT por el apoyo con la beca otorgada en el transcurso de la Maestría en Ciencia de los Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Instituto de Ciencias Agropecuarias en Tulancingo Hgo.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis padres por su apoyo moral e incondicional para realizar esta etapa de mi vida.

A mi compañero de vida José Luis, que me estuvo apoyando en todo momento a lo largo de toda mi carrera, y me acompañó siempre sin importar la circunstancias.

A la MC. Sylvia Rosales Chimal por su apoyo y enseñanza en las pruebas realizadas en mi proyecto y que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

## INDICE

RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. MARCO TEÓRICO .....	13
2.1 Películas y coberturas a base de polímeros.....	13
2.1.1 Almidón .....	13
2.1.1.1 <i>Amilosa</i> .....	15
2.1.1.2 <i>Amilopectina</i> .....	15
2.1.2. Almidón de Chayotextle.....	16
2.2 Películas biodegradables.....	17
2.3. Películas biodegradables en frutos.....	18
2.4 Películas biodegradables a base de almidón de chayotextle .....	19
2.5 Fresa.....	20
2.6 Películas con extractos naturales.....	21
3. JUSTIFICACIÓN .....	23
4. OBJETIVO GENERAL .....	24
4.1 Objetivos específicos .....	24
5. MATERIALES Y METODOS .....	25
5.2. Material vegetal.....	26
5.3. Aislamiento del almidón de chayotextle .....	26
5.4. Obtención del extracto de Jamaica.....	26
5.4.1 Microencapsulación de extracto de Jamaica .....	27
5.4.2 Cuantificación de fenoles .....	27
5.4.2.1 <i>Determinación de fenoles en el extracto de Jamaica</i> .....	27
5.4.2.2 <i>Determinación de fenoles en microcápsulas de Jamaica</i> .....	27
5.5. Elaboración de coberturas de almidón de chayotextle .....	28
5.6 Aplicación de películas en las fresas.....	28
5.7 Elaboración de películas de almidón de chayotextle .....	30
5.8. Brillo y color .....	30
5.9. Pérdida de peso.....	30
5.10. Firmeza .....	30

5.11. Acidez titulable .....	32
5.12. pH.....	32
5.13. Sólidos solubles totales .....	32
5.14. Porcentaje de solubilidad en agua.....	32
5.15. Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	33
5.16. Propiedades mecánicas .....	33
5.17. Análisis de viscosidad.....	34
5.18. Liberación de compuestos activos.....	34
5.19. Análisis estadístico.....	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	36
6.1. Brillo y color .....	36
6.1.1. Luminosidad ( <i>L</i> ).....	36
6.1.2. Valores de <i>a</i> * .....	38
6.1.3 Valores de <i>b</i> * .....	41
6.2. Pérdida de peso.....	43
6.3. Firmeza.....	45
6.4. Acidez titulable .....	48
6.5 PH.....	50
6.6. Sólidos solubles totales .....	52
6.7. Permeabilidad al vapor de agua.....	54
6.8. Porcentaje de solubilidad en agua.....	56
6.9. Pruebas mecánicas.....	57
6.10. Análisis de viscosidad.....	60
6.11. Liberación de compuestos bioactivos .....	61
6.12 Efecto de las coberturas en las fresas conforme el tiempo .....	64
7. CONCLUSIÓN.....	65
8. BIBLIOGRAFÍA.....	66
9. ANEXOS .....	73

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de las coberturas. ....	29
Tabla 2. Formulaciones de las películas a base de almidón adicionadas con extracto o microcápsulas de Jamaica. ....	31
Tabla 3. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el parámetro de luminosidad (L).....	37
Tabla 4. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el parámetro de a*.....	39
Tabla 5. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el parámetro de b*.....	42
Tabla 6. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el peso (g). ....	44
Tabla 7. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre la firmeza expresado en N. ....	46
Tabla 8. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el porcentaje de acidez. ....	49
Tabla 9. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el pH.....	51
Tabla 10. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre los sólidos solubles totales (SST). ....	53
Tabla 11. Resultados de las propiedades mecánicas de las películas,.....	59

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la amilosa.....	15
Figura 2. Estructura de la molécula de amilopectina.....	16
Figura 3. Diagrama general de la metodología. ....	25
Figura 4. Resultados de la permeabilidad al vapor de agua de las películas .....	55
Figura 5. Resultados del porcentaje de solubilidad en agua de las películas .....	58
Figura 6. Resultados del efecto de la viscosidad en las soluciones filmogénicas de las películas.....	62
Figura 7. Resultados de la liberación de fenoles las películas respecto al tiempo de agitación.....	63
Figura 8. Fresas con cobertura y su efecto conforme al tiempo.....	64



## RESUMEN

En este estudio se elaboraron coberturas a base de almidón de chayotextle (*Sechium edule Sw*) con el objetivo de prolongar la vida útil de las fresas (*Fragaria spp*), las soluciones consistían de almidón de chayotextle (2%), glicerol (1%), agua (170 mL) adicionado con extracto (1.5 mL) o microcápsulas (2.5 g) de calices de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y se aplicaron con un aerógrafo en las fresas, se almacenaron a temperatura de 4°C con HR 90-95 % en refrigeración y se evaluó la pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable cada 2 días durante 14 días.. Además, se elaboraron películas con el método de casting en vertido en placa para determinar las propiedades mecánicas: módulo de Young, porcentaje de elongación, fuerza de tensión y las propiedades de barrera: permeabilidad al vapor de agua y solubilidad en agua.

La aplicación de las coberturas adicionadas con extracto y microcápsulas de Jamaica mantuvo el peso de 21-22 g en el día 0 a 21 g en el día 14, además mantuvieron el porcentaje de acidez en 0.26% y la firmeza 6.22 Mpa. Los resultados indican que las coberturas que contienen microcápsulas fueron más efectivas para retrasar la madurez del fruto. Los resultados de las propiedades mecánicas de las películas indican que la adición de las microcápsulas otorga una mayor rigidez 88.3 MPa, menor elasticidad 14%, menor porcentaje de solubilidad en agua 29.4% y aumentó la permeabilidad de vapor de agua 3.2584E-10 g/m-h-Pa. Las coberturas a base de almidón de chayotextle con extracto y microcápsulas de Jamaica retrasan la maduración de la fresa y podría usarse como una alternativa para conservación de alimentos.

## ABSTRACT

In this study, covers based on chayotextle starch (*Sechium edule Sw*) were elaborated with the objective of prolong the shelflife of the strawberries (*Fragaria spp*), the solution consisted chayotextle starch (2%), glycerol (1%) , water (170 mL) added with extract (1.5 mL) or microcapsules (2.5 g) of Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*) and was applied with an airbrush on strawberries, they were stored at a temperature of 4°C with RH 90-95% in refrigeration and the loss of weight, color, firmness, total soluble solids, pH and titratable acidity were evaluated every 2 days for 14 days. Also, films were made with the casting method in pouring on a plate to determine the mechanical properties: Young´s modulus, percent elongation, tensile strength and barrier properties: water vapor permeability and water solubility.

The application of the coatings added with extract and microcapsules from Roselle maintained the weight from 21-22 g on day 0 to 21 g on day 14, they also maintained the percentage of acidity at 0.26% and firmness at 6.22 Mpa. Results indicate that containings with microcapsules were more effective in delaying fruit maturity. The results of the mechanical properties of the films indicate that the addition of the microcapsules gives a higher stiffness 88.3 MPa, less elasticity 14%, a lower percentage of solubility in water 29.4% and increased the permeability of water vapor 3.2584E-10 g/ m.h.Pa. Coatings based on chayotextle starch with Roselle extract and microcapsules delay strawberry ripening and could be used as an alternative for food preservation.

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2015 se produjeron alrededor de 269 millones de toneladas de plásticos en todo el mundo, con un consumo medio por habitante estimado en 45 kg, principalmente en forma de envases (Pelissari, 2019).

Los polímeros son materiales versátiles conocidos por ofrecer una amplia gama de propiedades junto con un procesamiento relativamente fácil y un precio bajo. Durante décadas, los polímeros se han utilizado en sectores de aplicación que incluyen embalaje, automovilística, construcción civil, agricultura, medicina y productos sanitarios. Los polímeros de base sintética se han aplicado ampliamente como materiales de envasado debido a su peso ligero, buenas propiedades mecánicas, estabilidad térmica y resistencia al agua. Las malas propiedades de degradabilidad de estos materiales han creado muchas preocupaciones a lo largo de los años. Este desafío, ha aumentado el interés en el uso de películas a partir de biopolímeros debido a su potencial de degradación más rápido en el medio natural en comparación con los polímeros sintéticos. (Oyekanmi, 2021).

En los últimos años, el uso indiscriminado de envases de plástico en la industria alimentaria ha generado problemas relacionados con la contaminación. Así, se han estudiado nuevas fuentes de envases biodegradables, como los biopolímeros derivados de almidón, celulosa, quitina y algas marinas podrían degradarse fácilmente debido a su exposición al entorno bioactivo (Cruz-Gálvez, 2018).

Durante los últimos años se ha estudiado el uso de películas biodegradables comestibles como envoltura en frutos por ser una buena alternativa de conservación postcosecha del fruto. Los polímeros biodegradables son una alternativa sustentable para sustituir el uso de materiales derivados del petróleo, los cuales son la problemática principal en la contaminación del medio ambiente, por su largo periodo de degradación además de su procesamiento de que su elaboración libera gases de efecto invernadero contaminando la capa de ozono (Pelissari, 2019).

En este trabajo se presenta una alternativa para la conservación de frutos postcosecha mediante el uso de películas biodegradables a base de almidón de

chayotextle como cobertura en fresas para sustituir las coberturas elaboradas de materiales a base de petróleo, los cuales son los principales contaminantes del medio ambiente.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Películas y coberturas a base de polímeros**

Numerosos estudios muestran que los polisacáridos naturales son muy adecuados para su uso como material de envasado para frutas y verduras frescas y, a menudo, pueden ser una alternativa importante a los compuestos sintéticos. Los materiales poliméricos naturales son una buena barrera al oxígeno y al dióxido de carbono; sin embargo, se caracterizan por una excesiva solubilidad en el medio acuoso, permeabilidad al vapor de agua y baja extensibilidad. Las propiedades de las coberturas comestibles pueden modificarse mediante la adición de plastificantes, tensioactivos, reticulantes, agentes antimicrobianos, aditivos funcionales, nanopartículas de plata o residuos de frutas y verduras. El uso de polisacáridos para la preparación de películas y coberturas comestibles, se justifica no solo por la posibilidad de reducir el consumo de envases fabricados con materiales poliméricos sintéticos, sino también por el hecho de que la producción de algunos polímeros naturales; se puede realizar utilizando productos de desecho generados durante el procesamiento de materias primas alimentarias (Kocira, 2021).

Se han utilizado polisacáridos, como pectina, almidón, alginato, carragenina y goma xantana, como materiales biopoliméricos para crear revestimientos y películas comestibles para reducir los envases de plástico tradicionales.

Los polímeros petroquímicos, ampliamente utilizados para el envasado de alimentos, no son renovables ni biodegradables y necesitan vertederos. Por lo tanto, existe el requisito de encontrar materiales de embalaje alternativos que sean fácilmente degradables y renovables.

#### **2.1.1 Almidón**

El almidón es un recurso renovable muy abundante en la naturaleza, sirve como fuente de energía para todos los organismos superiores, encontrándose en forma

granular en semillas, raíces y tubérculos de productos agrícolas, como maíz, arroz, trigo, mandioca, frijoles, papa y sorgo (Pelissari, 2019).

Aproximadamente 60 millones de toneladas de almidón se producen anualmente en todo el mundo, de las cuales el 60% del almidón se utiliza en aplicaciones alimentarias (salsas, jarabes de azúcar, sopas, productos de panadería, confitería, helados, alimentos para bebés, productos cárnicos, bocadillos, cerveza, café blanqueador, refrescos, etc.). Los productos farmacéuticos, así como otras aplicaciones comestibles, como papel, material de embalaje, cartón, fertilizantes, coberturas de semillas, adhesivos, materiales de construcción, pañales, bioplásticos, textiles, telas, cemento y perforación petrolera, utilizan el 40% restante de almidón (Brain Wilfer, 2021).

Después de la celulosa y la quitina, el almidón es el tercer biopolímero más abundante y es uno de los recursos renovables más importantes. Las principales fuentes en los Estados Unidos y Europa son el maíz, las papas y el trigo. A diferencia de la celulosa, los residuos de glucosa en el almidón están principalmente ligados a  $\alpha$ -(1→4), y esta diferencia de configuración aparentemente pequeña causa un gran cambio en la estructura macromolecular, que conduce a una conformación de cadena helicoidal en lugar de lineal, con todas sus consecuencias resultantes para la organización y las propiedades supramoleculares. Los dos constituyentes del almidón son la amilosa, el componente lineal, y la amilopectina, el componente ramificado  $\alpha$ -(1→6). Están organizados en gránulos de almidón de arquitectura altamente sofisticada en una estructura en capas. La amilopectina, ramificada de forma no aleatoria en una extensión de alrededor del 5 % y de mayor peso molecular que la amilosa ( $M_w = 107\text{--}108$  para la amilopectina y  $104\text{--}106$  g mol<sup>-1</sup> para la amilosa), forma las capas cristalinas (Mischnick, P., & Momcilovic, D., 2010)

Los gránulos de almidón se componen de dos tipos de alfa-glucano, amilosa y amilopectina, que representan aproximadamente el 98-99 % del peso seco. La proporción de los dos polisacáridos varía según el origen botánico del almidón. Los almidones "céreos" contienen menos del 15 % de amilosa, los "normales" entre el 20 y el 35 % y los almidones "altos" (amilos-) amilosos más del 40 %

aproximadamente. La estructura de los alfa-glucanos se analiza a continuación con más detalle. El contenido de humedad de los almidones equilibrados en aire oscila entre el 10 y el 12 % (cereales) y entre el 14 y el 18 % (algunas raíces y tubérculos) (Mischnick, P., & Momcilovic, D., 2010).

### **2.1.1.1 Amilosa**

La amilosa es un  $\alpha$ -glucano lineal relativamente largo que contiene alrededor del 99 % de enlaces alfa (1 - 4) y enlaces alfa (1 - 6) y difiere en tamaño y estructura según el origen botánico. La amilosa tiene un peso molecular de aproximadamente  $1 \times 10^5$ - $1 \times 10^6$ , un grado de polimerización (DP) por número ( $DP_n$ ) de 324–4920 con alrededor de 9–20 puntos de ramificación equivalentes a 3–11 cadenas por molécula. Cada cadena contiene aproximadamente 200 a 700 residuos de glucosa equivalentes a un peso molecular de 32 400 a 113 400 (Tester, 2004).

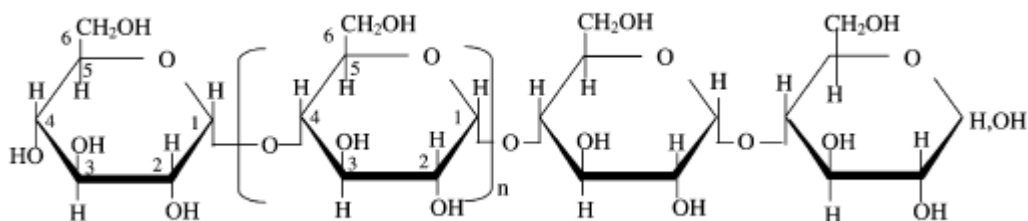


Figura 1. Estructura de la amilosa.

### **2.1.1.2 Amilopectina**

La amilopectina es una molécula mucho más grande que la amilosa con un peso molecular de  $1 \times 10^7$ – $1 \times 10^9$  y una estructura muy ramificada formada por alrededor del 95% alfa enlaces (1,4) y 5% enlaces alfa (1, 6). El  $DP_n$  suele estar dentro del rango de 9600 a 15 900, pero comprende tres especies principales con  $DP_n$  de 13 400 a 26 500, 4400-8400 y 700 a 2100. En común con la amilosa, el tamaño

molecular, la forma, la estructura y la polidispersidad de la molécula varían según el origen botánico. Sin embargo, a diferencia de la amilosa, existe una gran variación adicional con respecto a las longitudes de la cadena unitaria y los patrones de ramificación. Las cadenas unitarias de amilopectina son relativamente cortas en comparación con las moléculas de amilosa con un amplio perfil de distribución. Por lo general, tienen una longitud promedio de 18 a 25 unidades, aunque el rango se amplía (19 a 31) si también se incluyen almidones con alto contenido de amilosa. Las cadenas individuales se pueden clasificar específicamente en términos de su longitud (longitud de cadena, CL) y, en consecuencia, su posición dentro de los gránulos de almidón.

(Tester, 2004).

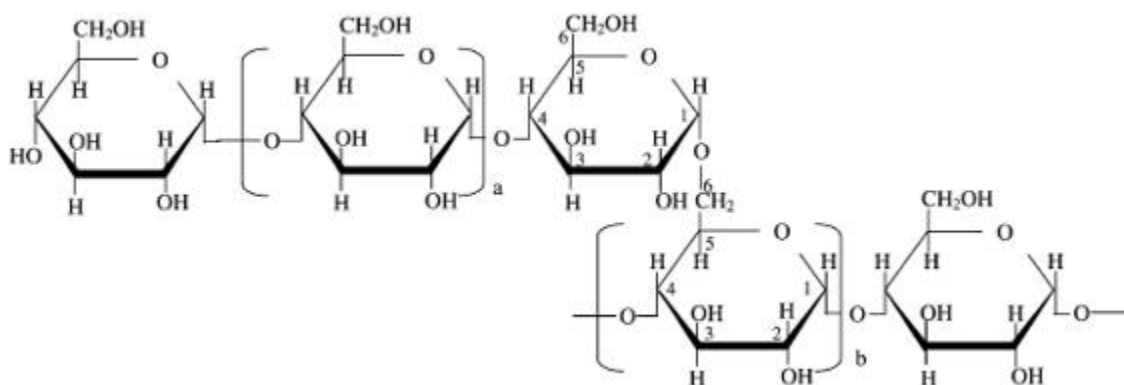


Figura 2. Estructura de la molécula de amilopectina.

### 2.1.2. Almidón de Chayotextle

El chayote (*Sechium edule Sw.*) es una planta herbácea perene, monoica (ambos sexos) trepadora, nativa de México y del centro de América. El chayote es un alimento que se encuentra altamente arraigado a la cocina mexicana; es un alimento completo que contiene carbohidratos, proteínas, calcio, fósforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, azúcar soluble y agua. Los tubérculos o raíces del chayote también conocidas como “chayotextle”, “cueza”, “camochayote”



o “chinchayote”, presentan importancia de interés tecnológico, debido a que el contenido de almidón en este tubérculo es elevado (136 g/kg), que puede ser comparado con el contenido de almidón presente en papa (140 g/kg). Es posible considerar al almidón de “chayotextle” como una fuente alternativa de este polisacárido para su uso en la industria alimentaria (Villegas., 2017).

El cultivo en México se ha centrado en la producción de los frutos, con una cosecha de 100,620.25 toneladas al año, sin embargo, no hay información oficial acerca de la recolección del chayotextle. Esta raíz tuberizada resulta una opción atractiva para la agronomía debido a que contiene almidón como su componente principal y puede ser utilizado como una fuente alternativa para su aislamiento, sin embargo, existe limitada información sobre el almidón de la raíz tuberizada del chayote. El rendimiento, pureza, así como información fisicoquímica es de importancia para aplicaciones industriales, por ello el interés en el proceso de extracción y caracterización para su empleo como aditivo alimentario o como un material de empaque de los alimentos.(Villegas., 2017).

## **2.2 Películas biodegradables**

Una definición de coberturas y películas comestibles es que son envases primarios hechos con ingredientes comestibles. Además, es posible aplicar directamente una fina capa de envasado comestible en los alimentos mediante recubrimiento, inmersión y pulverización. Las coberturas y las películas comestibles a veces se presentan como iguales, pero son diferentes en el método de aplicación. La diferencia entre las coberturas y las películas comestibles es que las películas se obtienen como laminados sólidos y luego se aplican a los alimentos mientras que las coberturas se aplican en métodos líquidos (Mohamed, El-Sakhawy, & El-Sakhawy, 2020).

Un factor que provoca alteraciones alimentarias es la contaminación microbiana, que provoca la propagación de enfermedades transmitidas por los alimentos. Por

ello, controlar o prevenir la contaminación de los alimentos es fundamental, y para ello se han desarrollado diferentes métodos. Uno de estos métodos es el uso de envases activos con actividad antimicrobiana, que interactúan con el alimento envasado para aumentar su vida útil (Cruz-Gálvez, 2018).

Ha habido un aumento significativo en el desarrollo de películas y coberturas comestibles en los últimos tiempos, y se espera que esto tenga un impacto significativo en la calidad de las frutas y hortalizas en los próximos años. Los consumidores esperan frutas y verduras frescas libres de residuos de pesticidas, con alta calidad, valor nutricional y una vida útil prolongada. La aplicación de coberturas y películas comestibles a frutas y verduras representa un enfoque ecológico para una solución innovadora para protección de frutos, pueden actuar como envases ecológicos y biodegradables (Kocira, 2021).

### **2.3. Películas biodegradables en frutos**

Las películas y coberturas o recubrimientos comestibles son capas finas de materiales que brindan una barrera contra la humedad, el oxígeno y el movimiento de solutos y extienden la vida útil del producto recubierto. Estos recubrimientos se pueden aplicar para conservar frutas y verduras, donde son capaces de controlar la respiración y la senescencia, como atmósferas modificadas, reduciendo el deterioro (Bersaneti, Prudencio, Mali, & Pedrine Colabone Celligoi, 2021).

Se han estudiado películas comestibles biodegradables, porque aumentan la vida útil de diferentes alimentos que son altamente perecederos y, además, llevan otros compuestos que mejoran sus propiedades mecánicas de las coberturas y agregan valor al producto final (Thakur, 2018).

Ortega-Toro, Collazo-Bigliardi, Roselló, Santamarina, & Chiralt, 2017, elaboraron películas de almidón de maíz la adicionado con gel de aloe vera en tomates tipo Cherry. Estas películas con la proporción más alta de Aloe vera fueron efectivas para controlar la descomposición por hongos y la pérdida de peso en los tomates Cherry.

Thakur, 2018, elaboraron una cobertura compuestos de almidón de arroz y carragenano mezclado con ésteres de ácidos grasos y sacarosa con el objetivo de mejorar la vida útil de las ciruelas. Se demostró que la cobertura es efectiva para reducir tanto la pérdida de peso como la tasa de respiración e inhibir la producción de etileno endógeno en comparación con la fruta de control sin cobertura almacenada a temperatura ambiente. En este estudio indican que la cobertura compuesta de almidón de arroz y carragenano mezclado con ésteres de ácidos grasos y sacarosa prolonga la vida útil y mantiene la calidad general de la ciruela durante el almacenamiento y podría potencialmente comercializarse como un nuevo recubrimiento comestible para la industria de la ciruela.

Se han utilizado películas biodegradables como cobertura en frutos para prolongar su vida de anaquel, por ejemplo, Thakur, 2019 utilizaron una biopelícula para prolongar la vida útil de la manzana *crisp pink* utilizando almidón de arroz. Los resultados mostraron una disminución en la tasa de respiración, aumento de la firmeza, el cambio de color de la piel y la untuosidad de la fruta, además de no afectar el sabor.

Bersaneti, Prudencio, Mali, & Pedrine Colabone Celligoi, 2021, realizaron un estudio donde se evaluó el efecto de una cobertura comestible de almidón con la adición de nistosa, con el objetivo de preservar la calidad y aumentar la vida útil de las moras almacenadas a 4 °C durante 20 días. Las frutas con cobertura de almidón-nistosa fueron efectivos para retrasar el aumento del pH, manteniendo la firmeza y el contenido de antocianinas de los frutos. La cobertura de almidón biodegradable con la adición de nistosa demostró ser eficaz, preservando la calidad de la mora, y puede ser una alternativa innovadora para prolongar la vida útil de los frutos.

#### **2.4 Películas biodegradables a base de almidón de chayotextle**

Aila-Suárez, 2013 caracterizaron películas de almidón de chayotextle reforzadas con celulosa y nanopartículas de celulosa. La adición de celulosa y nanopartículas

de celulosa en las películas de almidón mejoró algunas propiedades mecánicas, de barrera y funcionales.

Martínez-Ortiz, 2019, elaboraron coberturas a base de almidón de chayotextle como en guayabas adicionadas con microcápsulas de almidón resistente que contienen ácido ascórbico. En general, los frutos recubiertos con la solución de control y las soluciones que contienen microcápsulas mostraron cambios significativos en el contenido de sólidos solubles totales, pH y acidez titulable. Los frutos cubiertos con coberturas comestibles mostraron una disminución en la maduración, con valores más bajos para sus propiedades fisicoquímicas y cambios reducidos en el color de la superficie en comparación con los frutos sin recubrir.

## **2.5 Fresa**

La fresa (*Fragaria spp.*) pertenece a la familia de las *Rosaceae* en el género *Fragaria*, es un fruto no climatérico caracterizado por su aroma y sabor únicos y altamente deseables. (Omar García, 2016).

La fresa es una fruta no climatérica con una vida útil postcosecha muy corta. La pérdida de calidad de esta fruta se debe principalmente a su actividad metabólica relativamente alta y su sensibilidad a la descomposición por hongos.

Las fresas también son susceptibles a la pérdida de agua, magulladuras y daños mecánicos debido a su textura blanda y la falta de una cáscara protectora, (Colussi, 2021).

La vida útil de las fresas frescas en cámaras frigoríficas a 0 °C está alrededor de 2 semanas y después del almacenamiento en frío, tienen un máximo de 3-4 días de vida útil, que suele ser a temperatura ambiente (aprox. 20 °C). Diversas tecnologías han sido desarrolladas para la conservación de fresa, en la actualidad, uno de los métodos con potencial para conservar la vida postcosecha de frutas como la fresa, que consisten en una delgada capa de un material comestible y que puede aplicarse directamente sobre un alimento o convertirse en una película y ser usado como envoltura para alimentos sin cambiar los ingredientes originales o el método de

procesamiento. De esta manera funcionan como una barrera de resistencia contra la migración de gases y de agua, además proveen un mayor tiempo de conservación del producto (Omar García, 2016).

## **2.6 Películas con extractos naturales**

Oyekanmi, 2021, elaboraron películas con almidón de yuca adicionadas con nanofibras de celulosa y reforzadas con extracto de aceite de canela. El estudio de caracterización se llevó a cabo para mejorar las propiedades mecánicas, térmicas, morfológicas, de humectabilidad y antimicrobianas. Los resultados revelaron que las propiedades morfológicas, mecánicas e hidrofobicidad de las películas de biopolímero mejoraron significativamente con la incorporación de aceite esencial de canela, además exhibieron una buena actividad inhibidora contra las bacterias *S. Aureus* y *E. coli* con la incorporación del extracto de aceite de canela.

Zhou, Wu, Chen, & He, 2021, estudiaron los efectos de la cantidad de aceite esencial de canela sobre las propiedades físicas y mecánicas de las películas y se caracterizaron las estructuras de las películas con y sin extracto de aceite de canela. Los resultados mostraron que el alargamiento a la rotura, la resistencia al agua, el coeficiente de transmisión de vapor de agua, así como las propiedades de barrera al oxígeno y ultravioleta de las películas aumentaron significativamente con la adición de extracto de aceite de canela, mientras que la resistencia a la tracción de las películas disminuyó.

Susilowati, Mahardiani, & Sulistyowati, 2021 elaboraron una cobertura comestible de almidón y quitosano con la adición de aceite esencial de cáscara de naranja dulce para aumentar la vida útil de las manzanas de Malang. La adición de cáscara de naranja dulce como aceite esencial tuvo un efecto sobre la actividad antibacteriana de la película comestible contra la bacteria *S. aureus* y las manzanas de Malang pueden durar 22 días en observaciones de rendimiento físico.

Torres Vargas, Galeano Loaiza, & González, 2021, se realizó la extracción de pigmentos de fuentes naturales (antocianina y betanina) del exocarpio de la

berenjena negra (*Solanum melongena*) y el mesocarpio de la remolacha (*Beta vulgaris*), los cuales fueron incorporados en una solución filmogénea a base de alginato de sodio y almidón. Se evaluó el efecto que tiene la incorporación de extractos de origen natural sobre las propiedades mecánicas, ópticas y estructurales de las películas de almidón de yuca / alginato de sodio. Los resultados mostraron que la incorporación de extractos naturales influyó en las propiedades mecánicas, pero no influyó en el espesor de la película y la permeabilidad al vapor de agua.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Las frutas y hortalizas forman parte de la alimentación humana, tanto el fruto post cosecha como el fruto procesado. Debido al corto tiempo de vida útil de la fresa se han buscado alternativas para prolongar su vida útil. Una de las alternativas es el uso de empaques biodegradables para su almacenamiento, el material utilizado generalmente no es biodegradable y genera un daño al medio ambiente. Las películas comestibles son biodegradables y un recurso utilizado para prolongar la vida útil de los alimentos. se planea utilizar una cobertura a partir de materiales renovables y biodegradables, por ello se utilizó el almidón, el cual es un recurso abundante, de bajo costo y ampliamente utilizado para la elaboración de películas y coberturas biodegradables.

## 4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las películas y coberturas elaboradas con almidón de chayotextle adicionados con extracto y microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa* sobre la vida útil de la fresa.

### 4.1 Objetivos específicos

1. Microencapsular el extracto de *Hibiscus sabdariffa* mediante secado por aspersion y utilizando almidón de malanga como material pared.
2. Cuantificar los compuestos fenólicos del extracto y microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa*.
3. Determinar los parámetros de calidad en las fresas recubiertas, con una cobertura elaborada con almidón de chayotextle y adicionada con extracto o microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa*, durante el almacenamiento.
4. Determinar las propiedades mecánicas y de barrera de las películas de cobertura elaboradas con almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa*.
5. Determinar la actividad antimicrobiana en las películas de cobertura elaboradas con extracto o microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa*.
6. Evaluar el efecto del extracto y microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa* en la viscosidad de las soluciones filmogénicas de las películas.
7. Evaluar la cinética de liberación fenólica de las películas elaboradas con almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa*.



## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Diagrama general de la metodología

En la figura 3 se muestra el diagrama general de la metodología del proyecto.

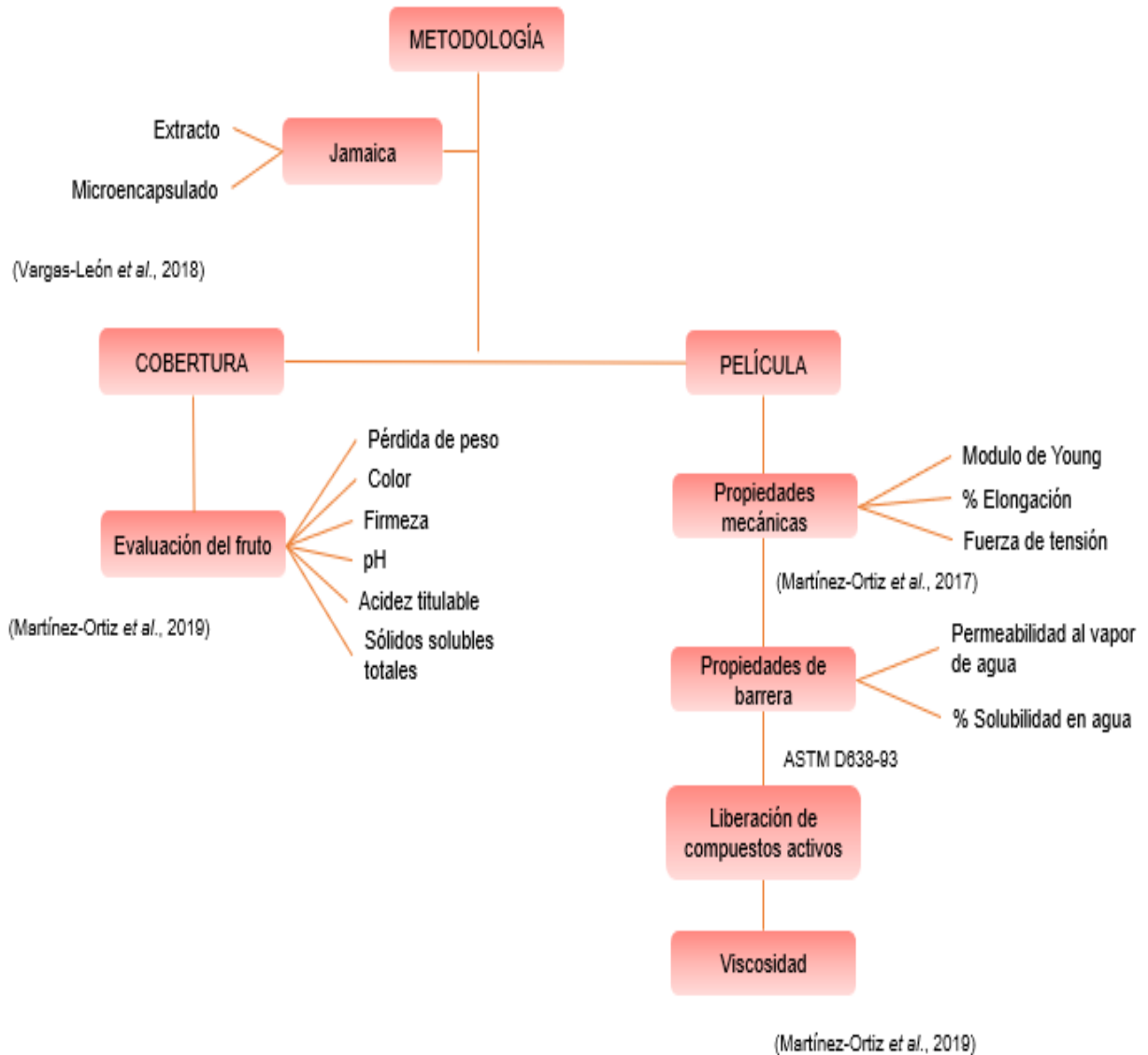


Figura 3. Diagrama general de la metodología.

## **5.2. Material vegetal**

Los tubérculos de chayotextle (*Sechium edule Sw.*) se adquirieron de un mercado local en la ciudad de Tulancingo de Bravo, estado de Hidalgo, México.

Las fresas (*fragaria ssp*), se recolectaron de un huerto comercial paralelo 20 S.A de C.V. en Tulancingo de Bravo, estado de Hidalgo, México.

Los cálices de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*) se adquirieron de un mercado local en la ciudad de Acapulco, estado de Guerrero, México.

## **5.3. Aislamiento del almidón de chayotextle**

Los chayotextles se lavaron con agua corriente y detergente líquido (salvo, México). Posteriormente se pelaron con ayuda de un pelador de papas y se cortaron en cubos de 2x2 cm de lado x lado. Después se licuaron en una licuadora (Oster, blsteg7805r) durante 1 min. El homogeneizado se hizo pasar a través de tamices del número 100, 200 y 325, lavando consecutivamente con abundante agua corriente, hasta que el agua de lavado salió limpia. El agua de lavado se recolectó en un recipiente y se dejó sedimentar por 12 h y posteriormente se decantó el sobrenadante. Se colocó 1 cm de espesor del sedimento en charolas de aluminio de 30x20 cm y se introdujo en un horno (Luzeren, DHG9240A) a 40 °C durante 48 h. El almidón seco se trituró en un molino (Hamilton Beach, 80393, México) hasta obtener un polvo, se pasó a través de un tamiz estándar de malla 100 y se almacenó en una bolsa resellable a temperatura ambiente (25 °C aprox), hasta su uso en los análisis posteriores.

## **5.4. Obtención del extracto de Jamaica**

Se pesaron 10 g de Jamaica, se adicionaron 100 mL de agua destilada y se colocó en una parrilla de calentamiento (Cole-Parmer StableTemp, AO-03405-21) hasta

ebullición (90 °C) por 10 min, transcurrido el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente.

#### **5.4.1 Microencapsulación de extracto de Jamaica**

Se mezclaron 26.3 g de almidón de malanga con 74.6 mL de extracto de cáliz de Jamaica, la mezcla se homogeneizó y se colocó en el secador por aspersion (Mini Spray Dryer B-290, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Suiza). La mezcla se alimentó a 5 mL/min, mientras que la temperatura del aire de entrada y salida era de 118 °C y 60 °C, respectivamente. Las microcápsulas secadas por aspersion se recolectaron, se guardaron en bolsas ámbar y se almacenaron a temperatura ambiente.

#### **5.4.2 Cuantificación de fenoles**

Se utilizó una curva estándar de 0 a 100 ppm de ácido gálico para determinar la concentración del extracto y microencapsulado, el resultado se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de cáliz de flor de Jamaica.

##### ***5.4.2.1 Determinación de fenoles en el extracto de Jamaica***

Los compuestos fenólicos totales se determinaron a través del método de Folin-Ciocalteu de Vargas-León et al. (2018). En microtubos se colocaron 250 µL del extracto, 625 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu y 500 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 7.5%, se agitó y se dejaron en reposo por 2 h, posteriormente se midió la absorbancia a 760 nm.

##### ***5.4.2.2 Determinación de fenoles en microcápsulas de Jamaica***

Se pesaron 3 g de las microcápsulas obtenidas en un microtubo, se adicionaron 1.1 mL de agua desionizada y se agitó vigorosamente por 10 minutos para romper la

cápsula. Posteriormente se centrifugó la muestra a 3500 rpm por 10 min y se recuperó el sobrenadante, se tomó de 2.2 mL y se aforó en un matraz de 10 mL posteriormente se siguió la metodología descrita en la sección 6.3.2.1.

### **5.5. Elaboración de coberturas de almidón de chayotextle**

Las coberturas se prepararon con 2 g de almidón de chayotextle, 1 g de glicerol, y 170 mL de agua. La solución se colocó en un vaso de vidrio templado de doble barra de manguera, conectado a un recirculador (Polyscience, 912) y se agitó a 100 rpm con un mezclador, la mezcla se calentó a 90 °C durante 10 min.

Las formulaciones CE y CM se dejaron enfriar hasta llegar a 35°C y se adicionó 1.5 mL de extracto de Jamaica y 2.5 g de microcápsulas respectivamente como se muestra en la Tabla 1.

### **5.6 Aplicación de películas en las fresas**

Las fresas se recolectaron de la misma cosecha y lote, tamaños y pesos similares sin ningún daño físico ni signos visibles de enfermedad. Después se sometió a un saneamiento por inmersión en una solución acuosa con desinfectante de frutas (biopur, México) durante 10 min. Posteriormente se les aplicó la película con el uso de un aerógrafo, y se dejó secar en un horno de secado a 35°C por 1 h. Se recubrieron 5 fresas con cada formulación, quedando un grupo sin recubrir como muestras de control. Las fresas (recubiertas y sin recubrir) se almacenaron en refrigeración (4 ° C y 95% HR) hasta el análisis realizado cada 2 días durante 14 días.

Tabla 1. Formulación de las coberturas.

<b>Formulación</b>	<b>Almidón (g)</b>	<b>Glicerol (g)</b>	<b>Agua(mL)</b>	<b>Extracto(mL)</b>	<b>Microcápsulas (g)</b>
<b>CONTROL</b>	---	---	---	---	---
<b>CC</b>	2	1	170	---	---
<b>CE</b>	2	1	170	1.5	---
<b>CM</b>	2	1	170	---	2.5

CC: Cobertura de chayotextle. CE: Cobertura de chayotextle con extracto de Jamaica. CM: Cobertura de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

### **5.7 Elaboración de películas de almidón de chayotextle**

Las películas se prepararon a una concentración de 3 g de almidón de chayotextle (base seca), 2g de glicerol (p/p) y agua (170 mL) como se muestra en la Tabla 2. La solución se mezcló dentro de un recirculador (Polyscience, 912) a 90°C durante 10 min en agitación mecánica a 100 rpm usando un mezclador (Cole Parmer).

La solución filmogénica se dejó enfriar (35-40°C) para añadir el extracto o las microcápsulas de calices de Jamaica (1.5%), después se vertieron en moldes de vidrio de 16X16cm y se dejaron secar durante 24 horas a 40°C. Transcurrido el tiempo las películas se retiraron de los moldes y se almacenaron en bolsas resellables a temperatura ambiente (25°C).

### **5.8. Brillo y color**

El color de la fresa se evaluó utilizando un colorímetro (Minolta, CR-400, México) se realizaron mediciones en tres lugares para cada muestra cada 2 días durante 14 días de almacenamiento realizando 5 repeticiones. Se utilizó el sistema de color CIE-Lab para evaluar los cambios de color (Martínez-Ortiz, 2019).

### **5.9. Pérdida de peso**

Se pesaron 5 fresas por tratamiento cada 2 días durante 14 días. (Martínez-Ortiz, 2019).

### **5.10. Firmeza**

La resistencia a la penetración en fresas se realizó para evaluar la firmeza utilizando un Texturómetro (Brookfield, CT3-1000GR, México) equipado con una sonda cilíndrica de 2 mm de diámetro; la profundidad de penetración fue del 20% a una velocidad de 1 mm/s. El análisis se llevó a cabo cada 2 días durante 15 días (Martínez-Ortiz, 2019).

Tabla 2. Formulaciones de las películas a base de almidón adicionadas con extracto o microcápsulas de Jamaica.

<b>Formulación</b>	<b>Almidón (g)</b>	<b>Glicerol (g)</b>	<b>Agua(mL)</b>	<b>Extracto(mL)</b>	<b>Microcápsulas (g)</b>
<b>CH</b>	3	1.5	170	---	---
<b>EXT</b>	3	1.5	170	1.5	---
<b>MCP</b>	3	1.5	170	---	2.5

CH: Película de almidón de chayotextle. EXT: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. MCP: Película de almidón de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

### 5.11. Acidez titulable

La acidez titulable se determinó siguiendo la fórmula 1 y se midió en 5g de pulpa homogeneizada con 50 mL de agua destilada y se tituló con NaOH 0.1 N, se utilizó fenolftaleína como indicador y los resultados se expresan como porcentaje de ácido cítrico. El análisis se llevó a cabo cada 2 días durante 14 días (Martínez-Ortiz, 2019).

Fórmula 1:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(\text{mL NaOH})(\text{N NaOH})\left(\frac{\text{Meq}}{100} \text{ g muestra}\right)}{\text{Masa de muestra}} \times 100$$

### 5.12. pH

El pH se determinó en 10 mL del zumo de las fresas utilizando un potenciómetro (hanna, HI2209).

### 5.13. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se determinaron en el zumo de las fresas con el uso de un refractómetro (ATAGO, PR101 Alfa) cada 2 días durante 15 días (Martínez-Ortiz, 2019).

### 5.14. Porcentaje de solubilidad en agua

El porcentaje de solubilidad se siguió la metodología de Aila-Suarez, 2013, con algunas modificaciones y consiste en cortar las películas en dimensiones de 3x3cm y someterlas en una HR 0% proporcionada por silica gel seca, durante 7 días, transcurrido el tiempo, se tomó el peso de cada película (peso inicial) y se colocaron en un vaso de precipitado con 80 mL de agua destilada en agitación baja constante durante una hora. Posteriormente las películas se secaron en un horno a 50°C hasta



peso constante y se tomó el peso nuevamente (peso final) y se siguió la fórmula 2 para determinar su porcentaje de solubilidad:

Fórmula 2:

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} \times 100$$

### **5.15. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)**

La PVA, se determinó mediante el método gravimétrico estándar de la ASTM, E 96-80. Las películas fueron cortadas en forma circular con un diámetro de 7 cm, y se colocaron en un desecador a una HR de 57% a  $25 \pm 2$  °C, provista de una solución saturada de bromuro de sodio (NaBr) por 48 horas. Se midió el espesor con un micrómetro Mitutoyo Digital H-2780 en 10 puntos al azar de la película. Pasado el tiempo las películas fueron colocadas en la parte superior en celdas de aluminio con 15 g de sílica gel, fijándolas cuidadosamente con la tapa y se colocaron en un desecador el cual contenía una solución saturada de cloruro de estroncio ( $\text{SrCl}_2$ ) con una HR de 70%. Se registró el peso cada hora por ocho horas. Se realizó un análisis de regresión lineal de los datos obtenidos, para determinar el coeficiente de transmisión de vapor de agua y la permeabilidad al vapor de agua.

### **5.16. Propiedades mecánicas**

En las pruebas mecánicas se midió el módulo de Young, porcentaje de elongación y la fuerza de tensión de acuerdo con el método estándar ASTM D-882-9 en un Texturómetro con capacidad de 50 kg con 10 repeticiones en cada prueba. Las películas se cortaron en rectángulos con dimensiones de 10 x 2cm, posteriormente se midió el espesor en un micrómetro (Mitutoyo Digital, H-2780) en 10 puntos elegidos al azar, para determinar el espesor promedio. Se acondicionaron en un desecador por 48 horas, el cual contenía una solución saturada de Bromuro de

sodio (NaBr) con una HR del 57%. Una vez pasada las 48 horas, se procedió a colocarlas en las pinzas de sujeción del equipo; la separación de éstas fue de 8 cm, cada extremo se sujetó colocando 1 cm del rectángulo en cada una de las pinzas.

### **5.17. Análisis de viscosidad**

La viscosidad de las soluciones se determinó con un Rapid Visco Analyzer (Perkin Helmer) siguiendo la metodología descrita por Martínez-Ortiz, 2019. Se mezcló una solución con 0.9 g de almidón de chayotextle, 0.25 g de glicerol, 25,1 g de agua, para la película con extracto se agregó 0.22 mL y la película con microcápsulas se agregó 0.36 g de microcápsulas de Jamaica.

Las soluciones se mezclaron en un recipiente de muestra de aluminio y se calentó de 20 a 90 °C, se mantuvo a 90 °C durante 5 min y se enfrió a 50 °C a una velocidad de calentamiento-enfriamiento de 8 °C/min y una velocidad de 160 rpm.

### **5.18. Liberación de compuestos activos**

La liberación de compuestos activos se midió en base al contenido fenólico liberado durante 6 días expresados en EAG/L con el método de Folin-Ciocalteu, las películas se cortaron en dimensiones de 3X3cm y se colocaron en un frasco ámbar con 50mL de agua destilada en agitación constante y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro cada día durante 6 días.

### **5.19. Análisis estadístico**

Los datos se analizaron en el programa de Sigma Plot 12 mediante un ANOVA de dos vías para las coberturas para determinar diferencias entre los días de almacenamiento y las formulaciones de las coberturas y de una vía para las pruebas mecánicas y de barrera en las formulaciones de las películas, por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Brillo y color

#### 6.1.1. Luminosidad (L)

La transparencia a la luz de los materiales de empaque es un parámetro importante, ya que afecta la calidad de la protección de los frutos y al mismo tiempo influye en su apariencia atractiva al consumidor (Rajapaksha, S. W., & Shimizu, N., 2021).

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de la luminosidad (L) de las fresas durante el tiempo de prueba.

El análisis estadístico ( $p \leq 0.05$ ) muestra que todas las coberturas presentan diferencias estadísticas respecto a los días de almacenamiento, no hubo diferencias significativas respecto a las formulaciones, muestra que el parámetro de luminosidad en las fresas disminuyó conforme el tiempo de almacenamiento

La disminución de luminosidad es debido a que, en el proceso de maduración de la fresa se llevan a cabo reacciones de pardeamiento enzimático por lo que disminuye su luminosidad (Valenzuela, 2015).

La principal enzima responsable de la reacción de pardeamiento es la polifenol oxidasa, que puede catalizar la hidroxilación de monofenoles a o difenoles y la oxidación de o-difenoles a sus correspondientes o-quinonas (Yang, 2010).

Thakur, 2018 utilizaron una cobertura a base de almidón de arroz en ciruelas y observaron que los frutos cubiertos y sin recubrir redujo los valores de  $L^*$  conforme los días de almacenamiento debido a la senescencia del fruto.

Martínez-Ortiz, 2017 elaboraron una película de almidón de chayotextle con microcápsulas de ácido ascórbico donde se observó un decremento en los parámetros de  $L^*$  en la mitad del periodo de almacenamiento, lo cual le atribuyeron a la senescencia del fruto.

Tabla 3. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el parámetro de luminosidad (*L*).

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	27.429 ± 3.340 <sup>a, A</sup>	27.429 ± 3.340 <sup>a, A</sup>	27.429 ± 3.340 <sup>a, A</sup>	27.429 ± 3.340 <sup>a, A</sup>
3	22.020 ± 1.198 <sup>a, B</sup>	22.338 ± 2.368 <sup>a, A</sup>	21.958 ± 1.980 <sup>a, B</sup>	21.903 ± 1.468 <sup>a, B</sup>
6	25.017 ± 1.775 <sup>a, AB</sup>	23.697 ± 1.491 <sup>a, A</sup>	24.609 ± 2.000 <sup>a, AB</sup>	24.620 ± 1.996 <sup>a, AB</sup>
9	23.458 ± 1.591 <sup>a, AB</sup>	24.029 ± 3.896 <sup>a, A</sup>	21.081 ± 1.178 <sup>a, B</sup>	22.928 ± 1.343 <sup>a, AB</sup>
11	21.954 ± 1.476 <sup>a, B</sup>	22.656 ± 3.578 <sup>a, A</sup>	23.182 ± 3.056 <sup>a, AB</sup>	23.246 ± 2.676 <sup>a, AB</sup>
14	22.257 ± 1.727 <sup>a, B</sup>	22.257 ± 1.727 <sup>a, A</sup>	22.358 ± 1.727 <sup>a, B</sup>	20.950 ± 2.616 <sup>a, B</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

Rajapaksha, S. W., & Shimizu, N., 2021, realizaron películas con almidón de mandioca y extracto de té donde se reportó que la transparencia de estas películas también se redujo como resultado de la superficie heterogénea, provocando la dispersión de la luz, por parte de los compuestos fenólicos provoca una mayor reducción en la transmisión de luz de estas películas.

### **6.1.2. Valores de $a^*$**

El color es un factor importante en la evaluación de la calidad de la fruta, ya que influye en la percepción del consumidor más que cualquier otro atributo de calidad (Rodrigues, 2021).

En la Tabla 4 se muestran los resultados de parámetro color ( $a^*$ ) correspondiente a la intensidad rojiza de las fresas y coberturas.

En las fresas control hubo diferencias estadísticamente significativas en los días 0, 3 y 14, donde se observa un aumento en el día 3 y los valores decrecen en el día 14, este comportamiento es normal debido a la maduración de la fresa.

En el día 3 se muestran diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones donde se observa un mayor valor en las FCM, lo que indica que esta formulación intensifica mayormente el color rojizo de las fresas desde el día 3.

En el día 14 los valores decrecientan mayormente en las fresas control y con cobertura de chayotextle, con valores de 31.424 y 32.359 respectivamente, mientras que, en las FCE y FCM, mantienen mayores valores (37.126-38.068), esto demuestra que estas formulaciones adicionadas con Jamaica intensificaron y mantuvieron el color rojizo en las fresas mayormente en la cobertura con microcápsulas de Jamaica.

El aumento en la tonalidad de  $a^*$  obedece a la pérdida de humedad durante el almacenamiento debido a la transpiración; y la disminución en el enrojecimiento

Tabla 4. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el parámetro de  $a^*$ .

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	30.904 ± 1.044 <sup>a, B</sup>	30.904 ± 1.044 <sup>a, B</sup>	30.904 ± 1.044 <sup>a, D</sup>	30.904 ± 1.044 <sup>a, D</sup>
3	35.985 ± 0.921 <sup>c, A</sup>	36.880 ± 1.126 <sup>c, A</sup>	39.814 ± 0.929 <sup>b, AB</sup>	43.964 ± 1.814 <sup>a, A</sup>
6	35.975 ± 0.169 <sup>b, A</sup>	35.035 ± 0.697 <sup>b, A</sup>	37.246 ± 1.334 <sup>b, BC</sup>	39.855 ± 1.577 <sup>a, BC</sup>
9	36.329 ± 0.460 <sup>b, A</sup>	36.230 ± 0.776 <sup>b, A</sup>	36.018 ± 1.207 <sup>b, C</sup>	40.325 ± 0.959 <sup>a, BC</sup>
11	36.579 ± 1.689 <sup>b, A</sup>	31.424 ± 1.799 <sup>c, B</sup>	40.733 ± 0.641 <sup>a, A</sup>	41.923 ± 0.439 <sup>a, AB</sup>
14	31.424 ± 1.799 <sup>b, B</sup>	32.359 ± 0.699 <sup>b, B</sup>	37.126 ± 1.505 <sup>a, C</sup>	38.068 ± 0.286 <sup>a, C</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

probablemente se debe a un aumento de la actividad respiratoria y enzimática que ocasiona pérdida de calidad por pardeamiento oxidativo (Restrepo F, 2010).

Colussi *et al*, (2021), mencionan que La reducción del color rojo se puede atribuir a la acción de la enzima polifenol oxidasa, que provoca el pardeamiento a través de la oxidación de compuestos fenólicos y contribuye a la pérdida de calidad.

Bersanetti *et al* (2021), realizaron una cobertura de almidón-nistosa en moras, mencionan que la disminución de antocianinas en la mora también se puede atribuir a la inestabilidad del pigmento durante el procesamiento y almacenamiento, generando una posible conversión en derivados incoloros e insolubles, a pesar de toda la protección que la cobertura puede brindar a los frutos al retardar los procesos metabólicos y la contaminación, la degradación del pigmento es un factor que también puede haber contribuido a la reducción del contenido de antocianinas en las moras. La disminución de antocianinas en mora también se puede atribuir a la inestabilidad del pigmento durante el procesamiento y almacenamiento, generando una posible conversión a derivados incoloros e insolubles (Ayala-Valenzuela, & Bohorquez, 2012; Rodríguez, 2020).

El uso de coberturas puede causar una disminución de oxígeno y una mayor acumulación de CO<sub>2</sub> en la fruta, lo que puede resultar, respectivamente, en una disminución de la síntesis de antocianinas y un aumento en la oxidación de compuestos fenólicos por reacciones enzimáticas que involucran polifenol oxidasa y peroxidasa, la presencia de azúcares que pueden acelerar el proceso de oscurecimiento (Bersanetti, 2021).



### **6.1.3 Valores de $b^*$**

En la Tabla 5 se muestran los resultados de parámetro color ( $b^*$ ) correspondiente a la intensidad del color amarillo (-) o azul (+) de las fresas y coberturas.

No hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las formulaciones hasta el día 14, en todas las formulaciones se observa un aumento gradual de los valores hasta el día 6 y posteriormente disminuyen a partir del día 9,

Esta alteración podría deberse a la diferencia de estado de madurez de las fresas como lo ocurrido en la investigación realizada por Colussi, *et al*, (2021) donde explican que esta ligera diferencia se puede atribuir a los diferentes grados de maduración de la fresa y que, aunque se tuvo mucho cuidado al elegir las frutas, algunas pueden haber tenido diferentes grados de madurez que el estándar utilizado en el estudio y, por lo tanto, provocar una variación aleatoria en los tratamientos.

Las fresas control y FCC obtuvieron mayores valores en el día 14 (42.176-39.034), mientras que los valores de las FCE y FCM obtienen los menores valores (37.103-37.423). El análisis estadístico indica que el periodo de almacenamiento impacta más en el parámetro de  $b$  que las formulaciones de las coberturas aplicadas a las fresas.

Thakur *et al*, (2018), elaboraron películas de almidón de arroz en ciruelas, donde reportaron que el color rojo disminuye por la degradación de las antocianinas debido al pardeamiento enzimático, lo que es parte del proceso de senescencia del fruto, de igual manera disminuye los valores de  $b^*$ .

Tabla 5. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el parámetro de  $b^*$ .

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	43.190 ± 0.873 <sup>a, A</sup>	43.190 ± 0.873 <sup>a, A</sup>	43.190 ± 0.873 <sup>a, A</sup>	43.190 ± 0.873 <sup>a, A</sup>
3	37.804 ± 0.616 <sup>bc, DE</sup>	38.998 ± 0.413 <sup>a, C</sup>	36.945 ± 0.168 <sup>c, C</sup>	38.234 ± 0.681 <sup>ab, CD</sup>
6	40.728 ± 0.915 <sup>a, B</sup>	41.133 ± 0.778 <sup>a, B</sup>	41.295 ± 0.957 <sup>a, B</sup>	40.218 ± 0.868 <sup>a, B</sup>
9	39.882 ± 0.371 <sup>a, BC</sup>	38.851 ± 0.586 <sup>a, CD</sup>	36.840 ± 0.855 <sup>b, C</sup>	39.402 ± 0.612 <sup>a, BC</sup>
11	36.957 ± 0.794 <sup>b, E</sup>	37.549 ± 0.618 <sup>b, D</sup>	37.335 ± 0.325 <sup>b, C</sup>	39.507 ± 0.766 <sup>a, BC</sup>
14	39.034 ± 0.676 <sup>b, CD</sup>	42.176 ± 0.245 <sup>a, AB</sup>	37.103 ± 0.296 <sup>c, C</sup>	37.423 ± 0.420 <sup>c, D</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

## 6.2. Pérdida de peso

En la Tabla 6 se muestra el peso registrado en las fresas cubiertas y sin recubrir conforme al periodo de almacenamiento.

En todas las formulaciones el peso disminuyó gradualmente conforme a los días de almacenamiento, se observa un decremento a partir del día 9 en las fresas control y a partir del día 11 en las fresas con cobertura (FCC, FCE y FCM).

En las fresas control el peso disminuye de 26.625 g a 17.847 g en el día 14, la fresa control perdió 32% de su peso en el día 14, estos decrementos en el peso se deben principalmente al movimiento de agua de la fresa a la atmósfera (Colussi, 2021).

En las FCC, el peso disminuyó el 35% de peso en el día 14, de 26.625 g en el día 0 a 17.235 g en el día 14.

En las FCE los valores disminuyeron de 26.625 g en el día 0 a 21.118 g en el día 14, lo que indica que se perdió el 20% de su peso. En las FCM los valores disminuyen de 26.625 g en el día 0 a 22.134 el día 14, por lo que perdieron el 16% de su peso. El retraso en la pérdida de peso en las formulaciones de FCE y FCM puede deberse a la influencia de la cobertura en el fruto.

Las FCE y FCM mantienen los mayores valores de peso hasta el día 9, en comparación con las fresas control y FCC, siendo la cobertura con microcápsulas la que obtuvo un mayor peso en el día 14. Lo que indica que las coberturas intervienen en el proceso de transpiración y se tuvo un mayor efecto en las fresas de cobertura con microcápsulas de Jamaica, retrasando la madurez de la fresa y protegiéndola de la deshidratación. El decremento fue mayor en los frutos control, Colussi *et al* (2021), utilizaron películas de películas de isocianato de alilo encapsulado por fibras ultrafinas de zeína en fresas, atribuyen que la pérdida de peso en las fresas es debido a que, al contener una piel tan fina, las fresas son más susceptibles a la rápida pérdida de peso. Thakur *et al.*, (2018), realizaron en películas de almidón de arroz en ciruelas y atribuyeron a que las coberturas limitan la transpiración del fruto y por ello retrasan la madurez.

Tabla 6. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el peso (g).

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	26.625 ± 0.458 <sup>a, A</sup>	26.625±0.458 <sup>a, A</sup>	26.625±0.458 <sup>a, A</sup>	26.625±0.458 <sup>a, A</sup>
3	24.037 ± 0.670 <sup>a, B</sup>	24.563 ± 0.442 <sup>a, A</sup>	24.878 ± 0.349 <sup>a, A</sup>	25.311 ± 0.518 <sup>a, A</sup>
6	22.942 ± 0.279 <sup>b, BC</sup>	24.492 ± 0.339 <sup>a, A</sup>	24.059 ± 0.642 <sup>ab, AB</sup>	24.547 ± 0.401 <sup>a, A</sup>
9	22.577 ± 0.279 <sup>b, CD</sup>	24.357 ± 0.424 <sup>a, AB</sup>	23.366 ± 0.674 <sup>ab, AB</sup>	24.381 ± 0.460 <sup>a, A</sup>
11	21.602 ± 0.311 <sup>b, D</sup>	23.074 ± 0.505 <sup>a, B</sup>	22.472 ± 0.627 <sup>ab, B</sup>	23.291 ± 0.694 <sup>a, AB</sup>
14	17.847 ± 0.347 <sup>b, E</sup>	17.235 ± 0.387 <sup>b, C</sup>	21.118 ± 0.540 <sup>a, C</sup>	22.134 ± 0.823 <sup>a, B</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

### 6.3. Firmeza

Los cambios en la firmeza de las fresas conforme a los días de almacenamiento se muestran en la Tabla 7. La firmeza en los frutos tiende a disminuir debido a la acción de las enzimas que degradan las paredes celulares y por la pérdida de agua del fruto en el proceso de maduración (Colussi, 2021).

En las fresas control, los valores de firmeza fueron disminuyendo gradualmente (19.008 N – 3.727 N) conforme a los días de almacenamiento, se observan diferencias estadísticamente significativas respecto al tiempo.

Por otro lado, la firmeza de las FCC a base de almidón de chayotextle, disminuyó del día cero a el segundo día, y posteriormente, de acuerdo con el análisis estadístico, la firmeza de las fresas se mantuvo hasta el día 9, y a partir de ahí la firmeza disminuyó significativamente.

En las FCE no hubo diferencias estadísticamente significativas los valores se mantuvieron en los días 3, 6 y 9. Hubo diferencias entre los días 0, 9, 11 y 14 la firmeza disminuyó a partir del día 9 de 15.728 a 4.014 N en el día 14.

Las FCM se observan diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) con los días 0, 3, 9, 11 y 14 los valores en la firmeza disminuyeron a partir del día 9 a 18.287 N y a 6.225 N en el día 14.

En los resultados obtenidos de las fresas cubiertas y sin recubrir en el día 0 presentan valores de 19.008 N conforme a los días de almacenamiento estos valores disminuyen y se observa un mayor decremento en las fresas control con valores de 3.727 N en el día 14, mientras que las FCM, presentan valores más altos de firmeza en el día 14 con valores de 6.22 N, lo que indica que las coberturas le otorgan a la fresa una mayor firmeza y retrasan el proceso de madurez de la fresa. Al retrasar la maduración de las frutas, la producción de etileno disminuye y así como la actividad de las enzimas pectinmetilesterasa y poligalacturonasa que se encargan de degradar las paredes celulares del fruto en su proceso de senescencia, lo que disminuye su firmeza (Martínez-Ortiz, 2019).

Tabla 7. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre la firmeza expresado en N.

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	19.008 ± 0.645 <sup>a, A</sup>	19.008 ± 0.645 <sup>a, A</sup>	19.008 ± 0.645 <sup>a, A</sup>	19.008 ± 0.645 <sup>a, BC</sup>
3	18.012 ± 1.114 <sup>bc, A</sup>	16.180 ± 1.302 <sup>c, B</sup>	19.025 ± 0.857 <sup>ab, A</sup>	20.901 ± 0.165 <sup>a, A</sup>
6	14.228 ± 0.775 <sup>c, B</sup>	16.121 ± 1.445 <sup>bc, B</sup>	17.200 ± 0.620 <sup>b, B</sup>	19.841 ± 0.466 <sup>a, BC</sup>
9	12.681 ± 1.875 <sup>c, B</sup>	15.820 ± 0.355 <sup>b, B</sup>	15.728 ± 0.694 <sup>b, C</sup>	18.287 ± 0.657 <sup>a, DC</sup>
11	7.355 ± 0.746 <sup>c, C</sup>	8.566 ± 0.683 <sup>c, C</sup>	13.153 ± 0.533 <sup>b, D</sup>	17.550 ± 0.922 <sup>a, D</sup>
14	3.727 ± 1.399 <sup>b, D</sup>	3.958 ± 1.013 <sup>b, D</sup>	4.014 ± 0.478 <sup>b, E</sup>	6.225 ± 0.518 <sup>a, E</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

Martínez-Ortiz *et al* (2019), reportaron que la adición de microcápsulas en las películas ayudó a mantener la firmeza de los frutos, atribuyendo al retraso en la respiración del fruto, manteniendo así los valores de firmeza. Bersaneti, *et al* (2021) elaboraron una película de almidón de mandioca en moras, reportan que las películas de cobertura retrasan la tasa de respiración y por lo tanto disminuyen la acción de las enzimas.

La pérdida de textura que ocurre durante el almacenamiento de la fruta puede estar relacionada con varios factores, incluyendo la deshidratación y los cambios metabólicos. De los eventos metabólicos que contribuyen al ablandamiento en frutos, los principales factores en la pérdida de textura son la solubilización y despolimerización de los polisacáridos de la pared celular, principalmente pectina, hemicelulosa y celulosa, los cuales son responsables de la alteración de la estructura de la pared celular durante la maduración. pérdida de firmeza relacionada (Bersaneti, 2021).

En el estudio realizado por Bersaneti *et al.*, (2021), se evaluó el efecto de una cobertura comestible de almidón con la adición de nistosa, con el objetivo de preservar la calidad y aumentar la vida útil de las moras, se puede observar que las moras sin cobertura mostraron un mayor ablandamiento que las moras recubiertas, lo que posiblemente indica que el uso de coberturas comestibles afectó la senescencia de la fruta, reduciendo la tasa de respiración y otras actividades metabólicas. La disminución de la firmeza de las moras está ligada al proceso de maduración y ablandamiento atribuido a los cambios metabólicos que ocurren durante la maduración de la fruta, como la conversión de polisacáridos en azúcares, biosíntesis de volátiles que son responsables del olor y sabor y pueden también ocurren cambios en la estructura de la pared celular, con ruptura de pectina, celulosa, hemicelulosa y otros polisacáridos por hidratación.

#### 6.4. Acidez titulable

La acidez en los frutos tiende a disminuir debido al uso de los ácidos orgánicos en el proceso de respiración {Restrepo F, 2010}. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos de la acidez representada como porcentaje de ácido cítrico en las fresas con cobertura y sin recubrir.

En las fresas control se observa un mayor decremento conforme a los días de almacenamiento que van de 3.200 % a 1.728 %. En las FCC no hubo diferencias estadísticamente significativas en los días 0, 3, 6 y 9, sin embargo, se observa un decremento a partir del día 9, los valores decrecieron de 3.200 % en el día 0 a 2.056 % en el día 14. En las FCE no hubo diferencias estadísticamente significativas en los días 0, 3, 6, 9 y 11, se observa un decremento conforme a los días de almacenamiento, mayormente en el día 14 disminuyó a 1.984 %.

En las fresas FCM no hubo diferencias estadísticas conforme a los días de almacenamiento y, muestran mayor acidez durante todo el periodo de almacenamiento, lo cual indica que las microcápsulas en las películas intervienen en la respiración de la fresa retrasando la síntesis de los ácidos orgánicos de la fresa.

La variación en la acidez titulable se debe a los procesos metabólicos del fruto y al deterioro de los microorganismos durante el almacenamiento, según lo reportado por Shigematsu *et al.* (2018) esto sucede debido a la degradación de los azúcares de los frutos y en consecuencia se produce la liberación de ácidos.

La disminución de la acidez titulable se atribuye a la oxidación de ácidos orgánicos por procesos fisiológicos, esto también puede estar relacionado con la oxidación de la fruta después de un período de almacenamiento. (Bersaneti, 2021).

Martínez-Ortiz *et al.* (2019), los resultados con mayor acidez se observaron en el fruto que contenía microcápsulas de ácido ascórbico, en coberturas aplicadas a guayabas, atribuyendo a un retraso en la respiración del fruto y por lo tanto su maduración.



Tabla 8. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el porcentaje de acidez.

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	3.200 ± 0.456 <sup>a, BC</sup>	3.200 ± 0.456 <sup>a, AC</sup>	3.200 ± 0.456 <sup>a, A</sup>	3.200 ± 0.456 <sup>a, A</sup>
3	3.520 ± 0.037 <sup>a, C</sup>	3.392 ± 0.517 <sup>a, C</sup>	3.072 ± 0.887 <sup>a, A</sup>	3.680 ± 1.093 <sup>a, A</sup>
6	2.624 ± 0.074 <sup>b, AB</sup>	2.741 ± 0.141 <sup>ab, AC</sup>	2.816 ± 0.296 <sup>ab, AB</sup>	3.264 ± 0.496 <sup>a, A</sup>
9	2.622 ± 0.072 <sup>a, AB</sup>	2.624 ± 0.074 <sup>a, AB</sup>	2.600 ± 0.046 <sup>a, AB</sup>	2.560 ± 0.314 <sup>a, A</sup>
11	2.592 ± 0.064 <sup>a, A</sup>	2.592 ± 0.064 <sup>a, AB</sup>	2.208 ± 0.242 <sup>a, AB</sup>	2.464 ± 0.557 <sup>a, A</sup>
14	1.728 ± 0.22 <sup>b, D</sup>	2.056 ± 0.093 <sup>b, B</sup>	1.984 ± 0.322 <sup>b, B</sup>	2.656 ± 0.064 <sup>a, A</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

## 6.5 PH

En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos en el pH en las fresas. Se observa que los valores de pH presentan una tendencia en ascenso conforme a los días de almacenamiento.

Las formulaciones no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los días 0, 3, 6, y 11, sin embargo, los valores de pH aumentaron paulatinamente durante los días de almacenamiento, mientras que hubo diferencias significativas en las FCM en el día 14, mantuvo su valor de pH desde el día 0.

No se observan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las fórmulas en los días 0, 3, 6 y 11. Si se observan diferencias a partir del día 9 entre las fresas con cobertura adicionada con extracto y las de microcápsulas con un menor valor de pH, contra las fresas control y con cobertura de chayotextle, que obtuvieron un menor pH. En el día 14 se no se observan diferencias significativas en las fresas control, FCC y FCE, los valores varían de 3.415 - 3.350, este aumento en el pH de los frutos es debido al uso de los ácidos orgánicos en el proceso de respiración. En las FCM se observa que el pH se mantiene de  $3.280 \pm 0.026$  durante todo el periodo de almacenamiento.

Los resultados obtenidos coinciden con los de Restrepo et al., (2010), al elaborar una película de gel mucilaginoso de penca sábila como cobertura en fresas, donde atribuyen a que la aplicación de las películas afecta la respiración.

Bersaneti et al., (2021) en coberturas comestibles de almidón con la adición de nistosa en moras los valores de pH del fruto variaron poco durante los 20 días de almacenamiento a 4 °C, manteniéndose en 3,5 para todos los tratamientos, observaron una tendencia al aumento del pH en las moras con cobertura de almidón y granos de kéfir durante 12 días de almacenamiento a 10 °C. Los autores atribuyeron este aumento de pH al proceso de maduración de la fruta, lo que conduce a una disminución de su acidez.

Tabla 9. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre el pH.

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	3.278 ± 0.026 <sup>a, B</sup>	3.278 ± 0.026 <sup>a, A</sup>	3.278 ± 0.026 <sup>a, AB</sup>	3.278 ± 0.026 <sup>a, A</sup>
3	3.300 ± 0.042 <sup>a, B</sup>	3.353 ± 0.048 <sup>a, A</sup>	3.300 ± 0.012 <sup>a, AB</sup>	3.300 ± 0.050 <sup>a, A</sup>
6	3.315 ± 0.050 <sup>a, B</sup>	3.305 ± 0.017 <sup>a, A</sup>	3.293 ± 0.072 <sup>a, AB</sup>	3.278 ± 0.013 <sup>a, A</sup>
9	3.260 ± 0.035 <sup>ab, B</sup>	3.313 ± 0.049 <sup>a, A</sup>	3.238 ± 0.013 <sup>b, B</sup>	3.270 ± 0.014 <sup>ab, A</sup>
11	3.325 ± 0.019 <sup>a, B</sup>	3.320 ± 0.037 <sup>a, A</sup>	3.283 ± 0.010 <sup>a, AB</sup>	3.288 ± 0.015 <sup>a, A</sup>
14	3.415 ± 0.019 <sup>a, A</sup>	3.350 ± 0.059 <sup>ab, A</sup>	3.350 ± 0.059 <sup>ab, A</sup>	3.280 ± 0.012 <sup>b, A</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

Un valor de pH más alto indica una maduración más rápida de los frutos, informaron que la dureza de los frutos está relacionada con los valores de pH. Los valores de pH más altos provocan un aumento en la liberación de iones  $\text{Ca}^{+}$  de los polímeros de pectina, mientras que las concentraciones más altas de iones de calcio libres disminuyen la dureza de la fruta, reduciendo así su vida útil. (Vargas-Torres, 2017).

## **6.6. Sólidos solubles totales**

Los valores en los sólidos solubles de las fresas conforme a los días de almacenamiento se muestran en la Tabla 10 expresados en °Brix.

En las fresas control se observan diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre los días 0, 3, 9 y 11, hubo un aumento a 9.758 °Brix en el día 3 y en el día 9 aumenta a 11.018 °Brix y disminuye (7.210-7.725 °Brix) en los días 11 y 14.

En las FCC no hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los días 3, 6 y 9, donde se presentan los mayores valores que varían de 9.293 °Brix a 10.155 °Brix, mientras que se muestran diferencias significativas, se observa un decremento a  $8.181 \pm 0.815$  °Brix en el día 11 y en el día 14 a 7.450 °Brix.

En las FCE se observan diferencias en el día 0, en el que se obtuvo el menor valor de sólidos solubles totales (6.658 °Brix), no hubo diferencias significativas en los días 3, 6, 9, 11 y 14, donde se presentan los mayores valores que varían de 8.602 °Brix a 9.540 °Brix.

En las FCM no se observan diferencias ( $p \leq 0.05$ ), no hubo diferencias significativas en los días 3, 6, 9, 11 y 14, donde se presentan los mayores valores que varían de 9.463 °Brix a 10.030 °Brix.

Tabla 10. Efecto de las diferentes formulaciones de coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con extracto o microencapsulado de Jamaica aplicadas a las fresas sobre los sólidos solubles totales (SST).

DÍA	CONTROL	FCC	FCE	FCM
0	6.658 ± 0.033 <sup>a, C</sup>	6.658 ± 0.033 <sup>a, D</sup>	6.658 ± 0.033 <sup>a, C</sup>	6.658 ± 0.033 <sup>a, C</sup>
3	9.758 ± 0.587 <sup>a, AB</sup>	9.293 ± 0.616 <sup>a, A</sup>	9.540 ± 0.338 <sup>a, A</sup>	9.463 ± 0.300 <sup>a, AB</sup>
6	9.260 ± 0.619 <sup>a, B</sup>	9.618 ± 0.795 <sup>a, A</sup>	9.238 ± 0.363 <sup>a, AB</sup>	9.366 ± 0.244 <sup>a, AB</sup>
9	11.018 ± 0.673 <sup>a, A</sup>	10.155 ± 0.326 <sup>ab, A</sup>	8.898 ± 0.412 <sup>c, AB</sup>	9.361 ± 0.587 <sup>bc, AB</sup>
11	7.210 ± 0.625 <sup>a, C</sup>	8.181 ± 0.822 <sup>ab, BC</sup>	8.602 ± 0.441 <sup>b, B</sup>	9.253 ± 0.224 <sup>b, B</sup>
14	7.450 ± 1.161 <sup>b, C</sup>	7.725 ± 0.102 <sup>b, CD</sup>	9.530 ± 0.370 <sup>a, A</sup>	10.030 ± 0.277 <sup>a, A</sup>

Los datos son la media de 4 réplicas ± la desviación estándar. Las letras en minúscula indican diferencias estadísticamente significativas en las formulaciones y las letras en mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas en los días ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. FCC: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle. FCE: Fresa con cobertura de almidón de chayotextle y extracto de Jamaica. FCM: Fresa con cobertura de almidón chayotextle y microcápsulas de extracto de Jamaica.

En las fresas control se observan valores en aumento del día 0 al día 9 con valores de 6.65 a 11.018 °Brix y de igual manera en las FCC con valores de 6.65 a 10.15 °Brix, mientras que en las FCE y FCM, los valores incrementan durante los días de almacenamiento con valores de 6.65 °Brix en el día 0 e incrementa a 9.463 °Brix desde el día 3 y se mantiene en 9.3° Brix hasta el día 11 y aumenta ligeramente el día 14 con un valor de 10.03° Brix, lo que indica que las coberturas intervienen en el proceso de maduración de las fresas, retrasando el uso de azúcares en su proceso de respiración.

Esta disminución en el contenido de sólidos solubles en las fresas control puede estar asociada con la degradación de algunos carbohidratos de la fruta o al crecimiento de microorganismos capaces de consumir azúcares libres (Bersaneti, 2021).

Las coberturas retrasan el proceso de maduración, además de ofrecer una barrera a la respiración que se refleja en una disminución de la descomposición de carbohidratos complejos en carbohidratos más simples (Rodrigues, 2021).

### **6.7. Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) indica la presencia de grietas, poros o burbujas en la película, lo que facilita el pase de los gases a través de ella.

En la Figura 4 se observan los resultados obtenidos respecto a la PVA de las formulaciones de las películas. La película de chayotextle (CH) obtuvo el menor valor de PVA ( $1.69E-10$  g/m-h-Pa), comparado con las demás y la película adicionada con encapsulado de Jamaica (MCP) obtuvo el mayor valor ( $3.2584E-10$  g/m-h-Pa), este aumento podría deberse a las aglomeraciones de las cápsulas de Jamaica producidas en la película en su proceso de elaboración, provocando una mayor porosidad, lo que facilita más la transferencia de gases a través de la película.

## PVA

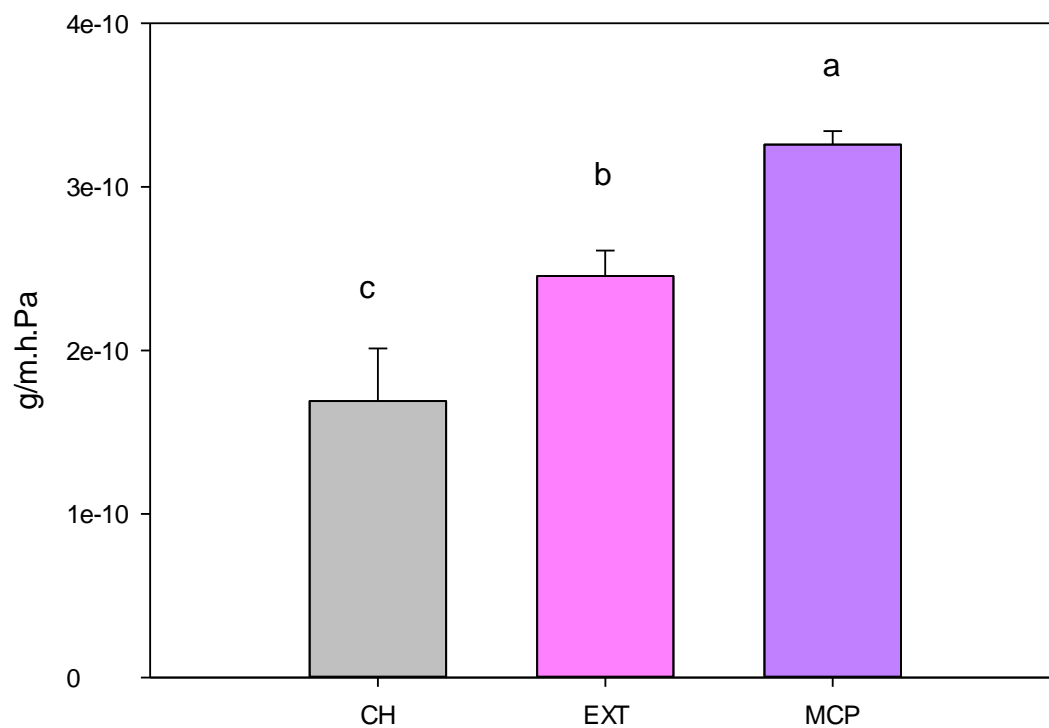


Figura 4. Resultados de la permeabilidad al vapor de agua de las películas, letras diferentes, indican diferencias estadísticamente significativas (n=6) ( $p \leq 0.05$ ). Ch: película de almidón de chayotextle. Ext: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. Mcp: Película de almidón de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

Resultados similares fueron reportados por Martínez-Ortiz *et al*, (2017), donde se observó un aumento en los valores de PVA asociado con la adición de microcápsulas de ácido ascórbico en las películas de almidón de chayotextle, este comportamiento lo atribuyen al aumento de grietas y porosidad localizadas mayormente en las aglomeraciones de las microcápsulas en las películas observadas mediante microscopia electrónica de barrido.

Los resultados difieren con los de Aila Suarez *et al*, (2013) al agregar nanopartículas de celulosa en películas de chayotextle disminuyó la PVA, lo que le atribuyen a un aumento en la relación superficie-volumen debido al tamaño nanométrico de las nanopartículas lo que promueve una mejor dispersión en la matriz polimérica, produciendo una red de puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón y celulosa.

En el estudio realizado por Rodrigues *et al*, (2021), se elaboraron coberturas a base de almidón y extracto de ciruela, las formulaciones de las coberturas a base de almidón (2% en peso de almidón) con 2% de sorbitol agregado exhibieron buenas propiedades de humectabilidad en la superficie de las fresas. Sin embargo, eran más permeables al O<sub>2</sub>, lo que estaba asociado con la alta concentración de plastificante en la cobertura seca. Los autores mencionan que, los plastificantes se utilizan para disminuir las atracciones intermoleculares entre cadenas poliméricas adyacentes, lo que a su vez facilita la movilidad molecular y la difusión de las moléculas de gas a través de la red polimérica, produciendo una red de puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón y celulosa.

## **6.8. Porcentaje de solubilidad en agua**

La solubilidad y el contenido de humedad de las películas y coberturas son propiedades importantes porque afectan directamente la resistencia al agua, lo que afecta su aplicación (Rodrigues, 2021).



En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos en el porcentaje de solubilidad en agua, los resultados indican que la película de chayotextle (CH) es más soluble en agua con un 35% en comparación con las películas adicionadas con encapsulado de Jamaica (MCP) con un valor de 29%. Este comportamiento puede atribuirse a la interacción entre las capsulas de jamaca y el almidón, que producen una red compacta con mayor cantidad de puentes de hidrógeno lo que reduce la solubilidad en agua.

Los resultados coinciden con lo reportado por Rodrigues et al, (2021), donde la solubilidad de las películas aumentó significativamente con el aumento de la concentración de extracto, los autores contribuyen este comportamiento a que probablemente hubo un reemplazo en los espacios libres de la matriz de la película, por compuestos fenólicos, que en su lugar estarían ocupados por moléculas de agua.

Aila-Suarez *et al*, (2013), menciona que el almidón es insoluble en agua a temperatura ambiente y la adición de nano partículas de celulosa en películas de almidón de chayotextle promovió las interacciones entre los grupos OH de ambos polisacáridos produciendo zonas más cristalinas que reducen la solubilidad en agua.

## **6.9. Pruebas mecánicas**

Las propiedades mecánicas indican la rigidez de la película, en la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas donde se determinó el porcentaje de elongación, el módulo de Young y la fuerza de tensión de las películas. La película de chayotextle (CH) obtuvo mayores valores en el porcentaje de elongación (42%) y menores valores en el módulo de Young (35 MPa), lo que indica que la película es menos rígida y más elástica, mientras que los resultados en la película adicionada con capsulas de Jamaica (MCP) obtuvieron menores valores de porcentaje de elongación (14%) y el mayor valor de módulo de Young (88 MPa), lo que indica que la película es más rígida en comparación con las demás.

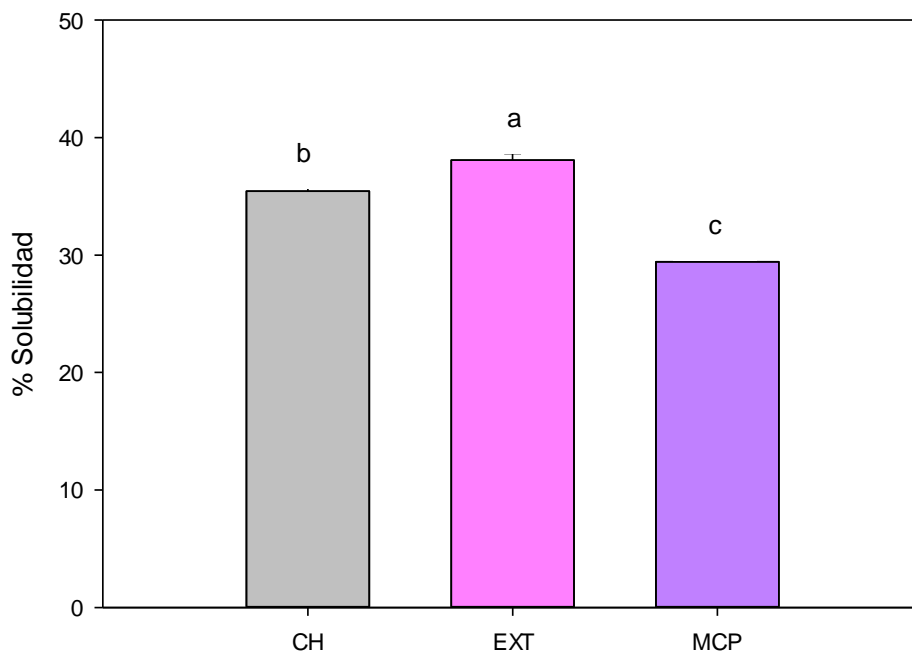


Figura 5. Resultados del porcentaje de solubilidad en agua de las películas, letras diferentes, indican diferencias estadísticamente significativas (n=6) ( $p \leq 0.05$ ). CH: Película de almidón de chayotextle. EXT: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. MCP: Película de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

Tabla 11. Resultados de las propiedades mecánicas de las películas,

<b>PELICULA</b>	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN (%)</b>	<b>MODULO DE YOUNG (MPa)</b>	<b>FUERZA DE TENSION (MPa)</b>
<b>CH</b>	42.497 ± 3.906 <sup>a</sup>	35.796 ± 2.113 <sup>c</sup>	14.412 ± 1.205 <sup>b</sup>
<b>EXT</b>	31.383 ± 1.330 <sup>b</sup>	76.652 ± 2.583 <sup>b</sup>	25.884 ± 1.040 <sup>a</sup>
<b>MCP</b>	14.347 ± 1.129 <sup>c</sup>	88.339 ± 8.779 <sup>a</sup>	13.575 ± 0.746 <sup>b</sup>

Los datos son la media de 10 réplicas ± la desviación estándar. Las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). Control: Fresa sin cobertura. CH: Película de almidón de chayotextle. EXT: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. MCP: Película de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

La adición del extracto y microencapsulado de Jamaica aumentó los valores en el módulo de Young, por lo que le otorgó a la película una mayor rigidez.

Respecto a la fuerza de tensión aumentó con la adición del encapsulado de Jamaica de 14 MPa en la película de chayotextle a 25 Mpa, lo que indica que las microcápsulas otorgan a las películas mayor estabilidad y rigidez.

Martínez-Ortiz *et al*, (2017), reportaron comportamientos similares al agregar microcápsulas de ácido ascórbico en películas a base de almidón de chayotextle, donde se observó un aumento en los valores de módulo de Young y un decremento en el porcentaje de elongación, lo que lo atribuyen a el efecto del refuerzo de las microcápsulas que afectan la distribución de tensiones en las películas, además la adición de las microcápsulas promueve interacciones más fuertes, mejorando las propiedades mecánicas.

Se observó un comportamiento similar en lo reportado por Aila-Suarez *et al*, (2013) en películas a base de almidón de chayotextle adicionadas con nanopartículas de celulosa, esta adición decreció los valores del porcentaje de elongación y aumentó los valores de módulo de Young y se concluyó que las películas con mayor cantidad de nanopartículas de celulosa adicionadas son más rígidas, lo que lo atribuyeron a una mayor dispersión de nanopartículas en la matriz de la película debido a mayores puentes de hidrógeno con los grupos OH del almidón.

#### **6.10. Análisis de viscosidad**

Los resultados del efecto en la viscosidad de las soluciones filmogénicas se muestran en la Figura 6, en la cual se observa menor viscosidad en las formulaciones adicionadas con extracto y microencapsulado de Jamaica que decrece a 100 cP, mientras que la solución de chayotextle (CH) obtiene el mayor valor 400 cP, lo que indica que la Jamaica altera la viscosidad de las formulaciones, este comportamiento puede atribuirse a la hidrólisis ácida del almidón por efecto de

la Jamaica, lo que provoca una ruptura en las cadenas de almidón, disminuyendo su peso molecular y su viscosidad.

Este comportamiento también fue reportado por Claudia Leites, *et al*, (2021) en una película de almidón adicionada con residuo de jugo de naranja, la adición del residuo redujo significativamente la viscosidad del gel, principalmente en extracto acuoso, esta reducción se le atribuyó al contenido de ácidos que incluyen cítrico y ascórbicos presentes en el residuo, lo que favorece la gelatinización del almidón promoviendo cambios en la estructura del almidón por una hidrólisis ácida, en la que la parte más amorfa del gránulo de almidón es atacada provocando la reducción del tamaño de cadena en el almidón, lo que disminuye la viscosidad de la solución.

#### **6.11. Liberación de compuestos bioactivos**

La encapsulación de compuestos activos con coberturas comestibles puede contribuir a la liberación controlada y mejorar su estabilidad. En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos en la liberación de compuestos activos expresadas en EAG/L y se observa que las películas de almidón de chayotextle mantiene los mismos valores durante los días de medición, la película con extracto de Jamaica aumentó sus valores de EAG/L y también mantuvo los mismos valores desde el día 0 hasta el día 6, mientras que la película adicionada con encapsulado de Jamaica aumentó paulatinamente, lo que indica que la encapsulación del extracto con almidón otorga una protección de los compuestos activos en la película.

Li, C., Pei, J., Xiong, X., & Xue, F., 2020 reportaron la liberación cinética de una película elaborada con proteína de semilla de ciruela adicionada con aceite esencial de extracto de uva, donde se observa que el nivel liberado aumentó a medida que el contenido de aceite esencial de uva, lo que le atribuyen a la formación de una estructura perforada, que podría beneficiar la liberación de aceites esenciales de las películas.

## RVA

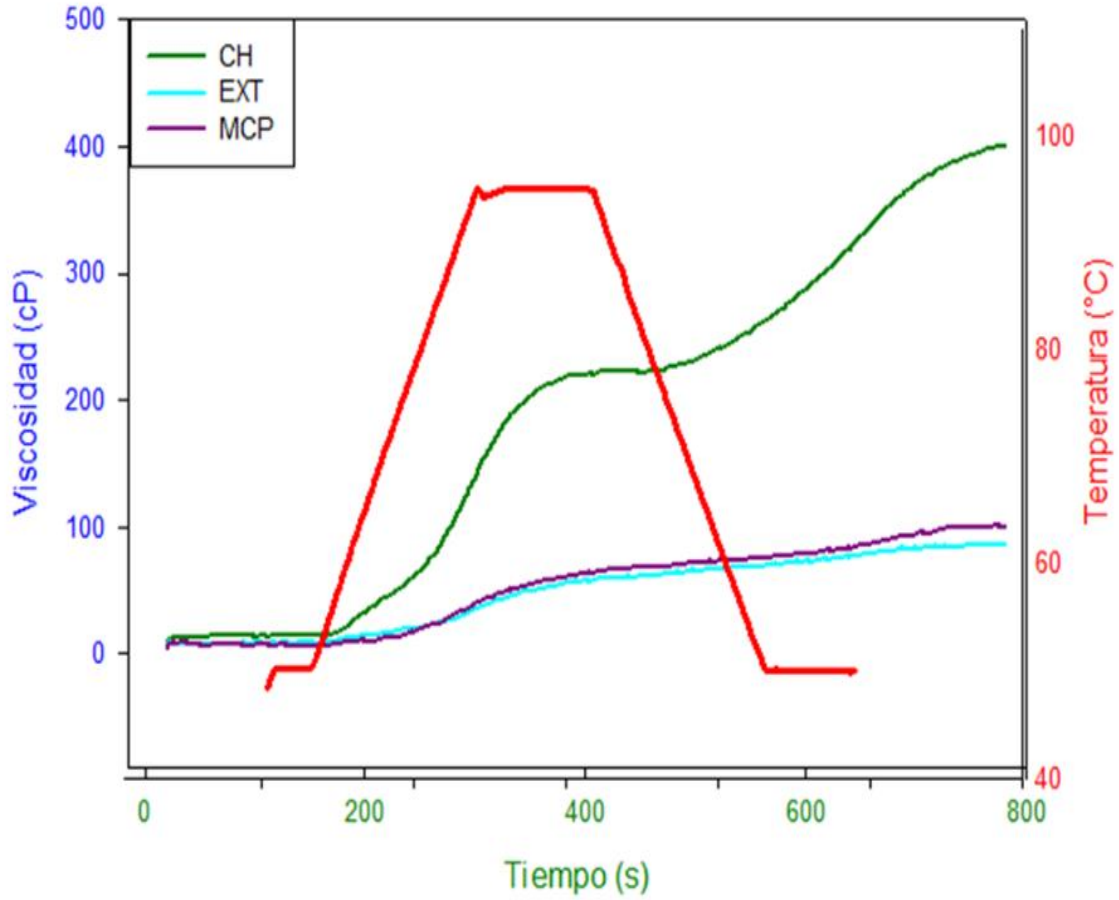


Figura 6. Resultados del efecto de la viscosidad en las soluciones filmogénicas de las películas. Ch: Película de almidón de chayotextle. Ext: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. Mcp: Película de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

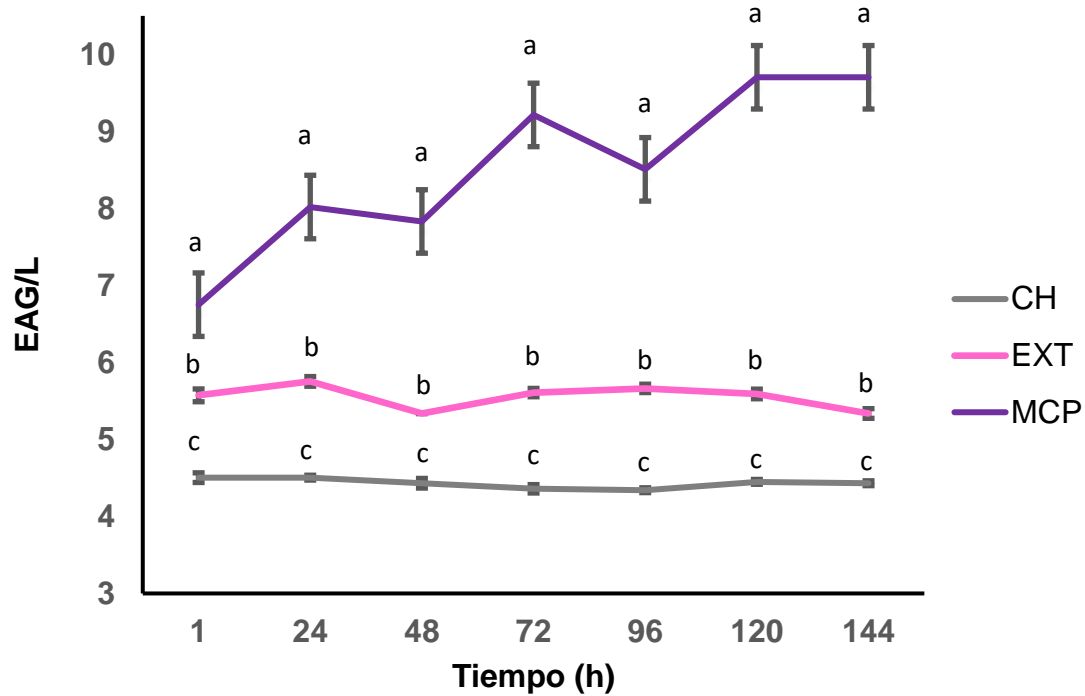


Figura 7. Resultados de la liberación de fenoles las películas respecto al tiempo de agitación, letras diferentes, indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) ( $n=6$ ). Ch: Película de almidón de chayotextle. Ext: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. Mcp: Película de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.

## 6.12 Efecto de las coberturas en las fresas conforme el tiempo

En la figura 8 se muestra las fresas control y con las coberturas en el día 0 y su avance conforme los días 9, 11 y 14, se puede apreciar que a partir del día 11 las fresas control presentan contaminación por hongos, una mayor opacidad y menor firmeza, por el contrario, las fresas con cobertura permanecen sin contaminación y mantienen el color y la firmeza.



Figura 8. Fresas con cobertura y su efecto conforme al tiempo. Control: Fruto sin cobertura. FCC: Película de almidón de chayotextle. FCE: Película de almidón de chayotextle con extracto de Jamaica. FCM: Película de almidón de chayotextle con microcápsulas de extracto de Jamaica.



## 7. CONCLUSIÓN

- Los resultados mostraron que la aplicación de las coberturas a base de almidón de chayotextle adicionadas con *Hibiscus sabdariffa* redujo la pérdida de peso, la acidez y la firmeza.
- Las coberturas mantuvieron el color, la luminosidad, los SST y el pH de las fresas. Las formulaciones que contienen microcápsulas fueron las más efectivas para retrasar los cambios de maduración en fresas. Las fresas con coberturas adicionadas con extracto y microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa* mantienen su firmeza y no presentan contaminación a diferencia de las fresas control y con cobertura de almidón de chayotextle.
- Los resultados de las propiedades mecánicas de las películas indican que la adición de las microcápsulas de Jamaica otorga una mayor rigidez, menor elasticidad y disminuyó el porcentaje de solubilidad en agua y aumentó la permeabilidad de vapor de agua.
- La adición de extracto y microcápsulas de *Hibiscus sabdariffa* redujo la viscosidad de la solución filmogénica.
- La aplicación de películas comestibles a base de almidón mezclados con extracto microencapsulado de *Hibiscus sabdariffa* es una buena alternativa para preservar la calidad de las frutas y una liberación controlada para extender su vida útil.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aila-Suárez, S., Palma-Rodríguez, H. M., Rodríguez-Hernández, A. I., Hernández-Uribe, J. P., Bello Pérez, L. A., & Vargas-Torres, A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 102-107. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.022>
- Alfaro Galarza, O., Chavarria Hernandez, N., Vargas Torres, A., & Palma Rodriguez, H. M. (2019). Encapsulación de Probióticos de Secado por Spray. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 5(10), 18-20. <https://doi.org/10.29057/icap.v5i10.4582>
- ASTM D 638M-93 Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic(Metric), ASTM International, West Conshohocke (PA), 1993.
- Ayala, L. C., Valenzuela, C. P., & Bohorquez, Y. (2012). Efecto de un recubrimiento comestible a base de alginato de sodio y iones de calcio sobre la calidad de mora castilla (*Rubus glaucus* Benth). *Vitae*, 19, 129–131.
- Bersaneti, G. T., Prudencio, S. H., Mali, S., & Pedrine Colabone Celligoi, M. A. (2021). Assessment of a new edible film biodegradable based on starch-nystose to increase quality and the shelf life of blackberries. *Food Bioscience*, 42, 101173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101173>
- Brain Wilfer, P., Giridaran, G., Jeya Jeevahan, J., Britto Joseph, G., Senthil Kumar, G., & Thykattuserry, N. J. (2021). Effect of starch type on the film properties of native starch based edible films. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3903-3907. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1118>

- Claudia Leites, L., Julia Menegotto Frick, P., & Isabel Cristina, T. (2021). Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 117, 106730. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106730>
- Colussi, R., Ferreira da Silva, W. M., Biduski, B., Mello El Halal, S. L., da Rosa Zavareze, E., & Guerra Dias, A. R. (2021). Postharvest quality and antioxidant activity extension of strawberry fruit using allyl isothiocyanate encapsulated by electrospun zein ultrafine fibers. *LWT*, 143, 111087. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111087>
- Cruz-Gálvez, A. M., Castro-Rosas, J., Rodríguez-Marín, M. L., Cadena-Ramírez, A., Tellez-Jurado, A., Tovar-Jiménez, X., . . . Gómez-Aldapa, C. A. (2018). Antimicrobial activity and physicochemical characterization of a potato starch-based film containing acetic and methanolic extracts of *Hibiscus sabdariffa* for use in sausage. *LWT*, 93, 300-305. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.064>
- Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., Navarro-Cortez, R. O., Cabrera-Canales, Z. E., Díaz-Batalla, L., . . . Falfan-Cortes, R. N. (2019). A modified Achira (*Canna indica* L.) starch as a wall material for the encapsulation of *Hibiscus sabdariffa* extract using spray drying. *Food Res Int*, 119, 547-553. doi:10.1016/j.foodres.2018.10.031
- Hoyos-Leyva, J. D., Chavez-Salazar, A., Castellanos-Galeano, F., Bello-Perez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2018). Physical and chemical stability of l-ascorbic acid microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. *Food Hydrocolloids*, 83, 143-152. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.002>

- Kocira, A., Kozłowicz, K., Panasiewicz, K., Staniak, M., Szpunar-Krok, E., & Horthyńska, P. (2021). Polysaccharides as Edible Films and Coatings: Characteristics and Influence on Fruit and Vegetable Quality—A Review. *11*(5), 813.
- Li, C., Pei, J., Xiong, X., & Xue, F. (2020). Encapsulation of Grapefruit Essential Oil in Emulsion-Based Edible Film Prepared by Plum (*Pruni Domesticae* Semen) Seed Protein Isolate and Gum Acacia Conjugates. *Coatings*, *10*(8). doi: 10.3390/coatings10080784
- Martínez-Ortiz, M. A., Vargas-Torres, A., Román-Gutiérrez, A. D., Chavarría-Hernández, N., Zamudio-Flores, P. B., Meza-Nieto, M., & Palma-Rodríguez, H. M. (2017). Partial characterization of chayotextle starch-based films added with ascorbic acid encapsulated in resistant starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, *98*, 341-347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.016>
- Martínez-Ortiz, M. A., Palma-Rodríguez, H. M., Montalvo-González, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., Utrilla-Coello, R., & Vargas-Torres, A. (2019). Effect of using microencapsulated ascorbic acid in coatings based on resistant starch chayotextle on the quality of guava fruit. *Scientia Horticulturae*, *256*. doi:10.1016/j.scienta.2019.108604
- Mischnick, P., & Momcilovic, D. (2010). Chemical Structure Analysis of Starch and Cellulose Derivatives. In D. Horton (Ed.), *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry* (Vol. 64, pp. 117-210): Academic Press.
- Mohamed, S. A. A., El-Sakhawy, M., & El-Sakhawy, M. A.-M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, *238*, 116178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>

- M.S. Nair, A. Saxena, C. Kaur, Characterization and antifungal activity of pomegranate peel extract and its use in polysaccharide-based edible coatings to extend the shelf-life of capsicum (*Capsicum annuum* L.), *Food Bioprocess Technol.* 11 (7) (2018) 1317–1327.
- Ochoa-Velasco, C. E., Salazar-González, C., Cid-Ortega, S., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2017). Antioxidant characteristics of extracts of *Hibiscus sabdariffa* calyces encapsulated with mesquite gum. *Journal of food science and technology*, 54(7), 1747-1756. doi:10.1007/s13197-017-2564-1
- Omar García, M. P. (2016). Efecto de recubrimientos de almidón de plátano guayabo (*Musa paradisiaca* L.) en la calidad de fresas. *Alimentos hoy*.
- Ortega-Toro, R., Collazo-Bigliraldi, S., Pilar-Santamarina J.R. (2017). Antifungal starch-based edible films containing *Aloe vera*. *Elsevier Ltd.*, 1-10.
- Oyekanmi, A., Khalil, H. A., Rahman, A., Mistar, E., Olaiya, N., Alfatah, T., . . . Technology. (2021). Extracted Supercritical CO<sub>2</sub> Cinnamon Oil Functional Properties Enhancement in Cellulose Nanofibre Reinforced Eucheama Cottoni Biopolymer Films.
- P. Brain Wilfer, G. G., J. Jeya Jeevahan , G. Britto Joseph, G. Senthil Kumar, Nivin Joy Thykattuserry. (2020). Efecto del tipo de almidón sobre las propiedades de las películas comestibles a base de almidón nativo. *Elsevier*.
- Pelissari, F. M., Ferreira, D. C., Louzada, L. B., dos Santos, F., Corrêa, A. C., Moreira, F. K. V., & Mattoso, L. H. (2019). Chapter 10 - Starch-Based Edible Films and Coatings: An Eco-friendly Alternative for Food Packaging. In M. T. P. Silva Clerici & M. Schmiele (Eds.), *Starches for Food Application* (pp. 359-420): Academic Press.

- Peretto, G., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. J., Sarreal, S. B. L., Hua, S. S. T., Sambo, P., & McHugh, T. H. (2014). Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. *Postharvest Biology and Technology*, 89, 11-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.003>
- Rajapaksha, S. W., & Shimizu, N. (2021). Development and Characterization of Functional Starch-Based Films Incorporating Free or Microencapsulated Spent Black Tea Extract. *Molecules*, 26(13). doi: [10.3390/molecules26133898](https://doi.org/10.3390/molecules26133898)
- Rodrigues, F. A. M., dos Santos, S. B. F., Lopes, M. M. d. A., Guimarães, D. J. S., de Oliveira Silva, E., de Souza Filho, M. d. S. M., . . . Ricardo, N. M. P. S. (2021). Antioxidant films and coatings based on starch and phenolics from *Spondias purpurea* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 354-365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.012>
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Thakur, R., Pristijono, P., Golding, J. B., Stathopoulos, C. E., Scarlett, C. J., Bowyer, M., . . . Vuong, Q. V. (2018). Development and application of rice starch based edible coating to improve the postharvest storage potential and quality of plum fruit (*Prunus salicina*). *Scientia Horticulturae*, 237, 59-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.005>
- Thakura R., Pristijonoa P., J. Scarletta C.J., Bowyera M., Singhb S.P., Vuonga Q.V. (2019) Starch-based edible coating formulation: Optimization and its application to improve the postharvest quality of “Cripps pink” apple under different temperature regimes. *Food packing and shelf life*.

- Shigematsu, E., Dorta, C., Rodrigues, F. J., Cedran, M. F., Giannoni, J. A., Oshiiwa, M., et al. (2018). Edible coating with probiotic as a quality factor for minimally processed carrots. *Journal of Food Science and Technology*, *55*, 3712–3720.
- Susilowati, E., Mahardiani, L., & Sulistyowati, D. (2021, May 01, 2021). Preparation of Poliblend Suweg Starch-Chitosan with Addition of Essential Oil from Sweet Orange Peel as Edible Coating on Malang's Apples.
- Torres Vargas, O. L., Galeano Loaiza, Y. V., & González, M. L. (2021). Effect of incorporating extracts from natural pigments in alginate/starch films. *Journal of Materials Research and Technology*, *13*, 2239-2250. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.091>
- Valenzuela, C., Tapia, C., López, L., Bungler, A., Escalona, V., & Abugoch, L. (2015). Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria xananassa*) quality. *Electronic Journal of Biotechnology*, *18*(6), 406-411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.09.001>
- Vargas-León, E. A., Díaz-Batalla, L., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Castro-Rosas, J., Reynoso-Camacho, R., & Gómez-Aldapa, C. A. (2018). Effects of acid hydrolysis on the free radical scavenging capacity and inhibitory activity of the angiotensin converting enzyme of phenolic compounds of two varieties of jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, *116*, 201-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.044>
- Vargas-Torres, A., Becerra-Loza, A. S., Sayago-Ayerdi, S. G., Palma-Rodríguez, H. M., García-Magaña, M. d. L., & Montalvo-González, E. (2017). Combined effect of the application of 1-MCP and different edible coatings on the fruit quality of jackfruit bulbs (*Artocarpus heterophyllus* Lam) during cold storage.

*Scientia Horticulturae*, 214, 221-227. doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.045>

Vieira, E. F., Pinho, O., Ferreira, I. M. P. L. V. O., & Delerue-Matos, C. (2019). Chayote (*Sechium edule*): A review of nutritional composition, bioactivities and potential applications. *Food Chemistry*, 275, 557-568. doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.146>

Villegas., R. C. (2017). Estudios científicos relacionados a la raíz tuberizada de chayote (*Sechium edule*), revisión. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*,, 3.

Yang, F. M., Li, H. M., Li, F., Xin, Z. H., Zhao, L. Y., Zheng, Y. H., et al. (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*, 75(3), 236–240.

Zhou, Y., Wu, X., Chen, J., & He, J. (2021). Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 574-583. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067>



## 9. ANEXOS

