



TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

“Evaluación del efecto antifúngico de una biopelícula adicionada con aceite esencial de *Cúrcuma longa L.*”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Ingeniera en Industrias Alimentarias

PRESENTA

Itzel Guadalupe Vicencio Hernández

DIRECTOR DE TESIS

Nancy Deyanira Hernández Castellanos

CO- DIRECTOR DE TESIS

Miguel Alberto Pérez Vargas

DEDICATORIA

Con humildad y gratitud, dediqué este trabajo a Dios, mi guía constante, cuya luz ha iluminado mi camino en esta travesía académica. A través de los desafíos y momentos de soledad, su amor y misericordia han sido mi consuelo y fuerza.

A mi madre, María del Carmen, tu amor incondicional y tu sacrificio desinteresado son un tesoro que valoro más que cualquier otro. Te honro y agradezco eternamente. Has sido no solo mi madre, sino también mi amiga, mi confidente y mi más fiel defensora. Gracias por ser la mejor madre que alguien podría desear. Te amo con todo mi ser. A mis hermanos y hermanas, quienes han compartido conmigo risas, lágrimas y momentos inolvidables, agradezco mucho su constante respaldo y afecto. A mis queridos sobrinos, que llenan nuestros días de alegría y amor, les prometo ser un modelo a seguir y estar siempre allí para ustedes. A mis queridos cuñados, agradezco profundamente su apoyo inquebrantable. A pesar de sus agotadas jornadas y limitado tiempo, su generosidad y respaldo han sido mi motor. Valorando esos momentos compartidos.

Deseo expresar mi profundo agradecimiento hacia mi tía Lupe y a mi madrina Chela, por su constante presencia y su amor incondicional. A ti querida tía, por su capacidad para ver más allá de las dificultades y su compromiso con mi bienestar, han sido un verdadero regalo en mi vida. Y a mi padre Jorge, aunque nuestras diferencias a veces hayan sido evidentes, reconozco y valoro profundamente el impacto de sus enseñanzas en mi vida. A través de su ejemplo de trabajo arduo y perseverancia, he aprendido la importancia de la dedicación y la tenacidad en la búsqueda de mis sueños.

A usted, Ing. Nancy, mi más sincero agradecimiento por su dedicación y atención constante en mi trayecto académico. Valoré profundamente sus diversos puntos de vista, las conversaciones matutinas que siempre alegraba mis días y su disposición inquebrantable para brindarme ayuda y claridad en cada paso de mi proyecto. Y a usted, Ing. Miguel, mi gratitud por su apoyo incondicional. Agradezco especialmente su paciencia al enseñarme el manejo de equipos y su habilidad para tranquilizarme cuando las dudas amenazaban mi tranquilidad.

Con todo mi amor,

Itzel Guadalupe Vicencio Hernández.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la familia que me ha brindado y expreso mi profundo agradecimiento a mis seres queridos por respaldarme en cada elección de mi vida. A través de sus consejos y apoyo incondicional, he podido forjar un camino lleno de experiencias valiosas, y deseo manifestarles mi gran afecto. A mis padres, les agradezco por darme la vida, por su amor incondicional, su inmensa bondad y por permitirme cumplir el mayor de mis anhelos. Su constante respaldo y genuino apoyo, así como sus sacrificios y dedicación, han sido fundamentales para mi desarrollo profesional. Ellos me han guiado y han superado junto a mí las dificultades que he enfrentado en el camino hacia mi crecimiento como profesional. Su motivación constante ha sido un motor para alcanzar mis objetivos y perseguir mis sueños. Además, su respaldo financiero ha sido fundamental para culminar exitosamente mi carrera universitaria.

Agradezco mucho a mis asesores su tiempo, sinceridad y atención sin molestia alguna, sin ellos, no podría haber llegado a lograr esta meta. Gracias por su orientación y todos sus consejos, siempre serán recordados en mi futuro profesional.

RESUMEN

En este estudio, se examinaron las características físicas y mecánicas de las biopelículas con aceite esencial (AE) de *Cúrcuma longa L.*, en su potencial efecto antifúngico. Se formularon 3 biopelículas utilizando almidón de yuca (*Manihot esculenta*), glicerol y AE de *C. longa L.*, con las concentraciones de 0.1, 0.2 y 0.3% y una sin AEC. Las biopelículas se caracterizaron por su delgadez, resistencia, transparencia y ausencia de adherencia al tacto. Se obtuvo un porcentaje de rendimiento del 80 % de almidón de *Manihot esculenta* y del 0.19% de AE de *C. longa L.*, a partir de 3kg de materia prima. La evaluación de propiedades físicas reveló que el tratamiento 2 exhibió menor solubilidad y tuvo diferencia significativa con los otros tratamientos. Respecto a la biodegradabilidad de las biopelículas, se obtuvo un porcentaje de biodegradación entre el 63 y 100%. El espesor no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, sin embargo, la densidad mostró significativamente diferente entre el tratamiento 2 y los demás tratamientos. Estos resultados, sugieren que las biopelículas de almidón de *Manihot esculenta*, adicionadas con AE de *C. longa L.*, tienen un potencial como alternativa ecológica y amigable con el entorno. La aplicación de la biopelícula sobre naranjas como barrera antifúngica tuvo resultados del 88 % de inhibición por el método de aspersión del hongo, mientras que en el ensayo de inoculación por punción no mostró indicios de desarrollo del hongo (*Penicillium digitatum*). Las biopelículas antifúngicas mantuvieron la acidez de las naranjas al ser inoculadas por aspersión, mientras que los °Brix no fueron afectados significativamente.

Palabras clave: Almidón, Biopelículas, Cúrcuma, Actividad antifúngica, Propiedades mecánicas.

ABSTRACT

In this study, the physical and mechanical characteristics of the biofilms with essential oil (EO) of *Curcuma longa L.* were examined for their potential antifungal effect. 3 biofilms were formulated using cassava starch (*Manihot esculenta*), glycerol and EO from *C. longa L.*, with concentrations of 0.1, 0.2 and 0.3% and one without EO. The biofilms were characterized by their thinness, resistance, transparency and lack of adhesion to the touch. A yield percentage of 80% of starch from *Manihot esculenta* and 0.19% of EO from *C. longa L.* was obtained from 3kg of raw material. The evaluation of physical properties revealed that treatment 2 exhibited lower solubility and had a significant difference with the other treatments. Regarding the biodegradability of the biofilms, a biodegradation percentage between 63 and 100% was obtained. The thickness did not show significant differences ($p > 0.05$) between treatments, however, the density showed significantly different between treatment 2 and the other treatments. These results suggest that *Manihot esculenta* starch biofilms, added with EO from *C. longa L.*, have potential as an ecological and environmentally friendly alternative. The application of the biofilm on oranges as an antifungal barrier had results of 88% inhibition by the spray method of the fungus, while in the puncture inoculation test it did not show signs of development of the fungus (*Penicillium digitatum*). The antifungal biofilms maintained the acidity of the oranges when applied by spraying, while the °Brix was not significantly affected.

Keywords: Starch, Biofilms, Turmeric, Antifungal activity, Mechanical properties.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GENERAL	v
CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Objetivos	6
1.5.1 General.....	6
1.5.2 Específicos.....	6
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	7
2.2 Almidón.....	7
2.2.1 Composición del Almidón.....	7
2.3 Almidón de yuca	8
2.3.1 Almidón de <i>Manihot esculenta</i> en biopelículas	8
2.4 Biopelículas.....	8
2.4.1 Método de casting para la producción de las biopelículas.	8
2.4.2 Propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas	9
2.4.2.1 Espesor.....	9
2.4.2.2 Solubilidad.....	9
2.4.2.3 Biodegradabilidad.....	9
2.4.2.4 Densidad	10
2.4.2.5 Tensión a la tracción.....	10

2.5 El AE de <i>Cúrcuma longa L.</i>	10
2.6 Naranjas.....	11
2.6.1 Análisis fisicoquímico de la naranja.....	11
2.6.1.1 Acidez titulable.....	11
2.6.1.2 Grados Brix.....	11
CAPÍTULO III.- ESTADO DEL ARTE	12
CAPÍTULO IV.- METODOLOGÍA.....	14
4.1. Obtención y acondicionamiento de la materia prima.	14
4.1.1 Obtención de almidón de Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	14
4.1.2 Extracción de aceite esencial de <i>Cúrcuma longa L.</i>	15
4.2 Formulación de biopelículas de <i>Manihot esculenta</i> y AE de <i>C. longa L.</i> , utilizando el método de casting.....	15
4.3 Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas.....	16
4.3.1 Espesor.....	16
4.3.2 Solubilidad.....	16
4.3.3 Biodegradabilidad en el suelo.....	16
4.3.4 Densidad	17
4.3.5 Tensión a la tracción (Peak Load, Deformation At Peak Load and Work)	17
4.4 Obtención del material biológico.	17
4.4.1 Preparación de la suspensión de esporas en la aplicación de recubrimiento de las biopelículas en las naranjas.	17
4.4.2 Aplicación de biopelículas sobre naranjas y almacenamiento en frío.....	18
4.4.2.1 Inoculación por aspersión.....	18
4.4.2.2 Inoculación por punción	18
4.5. Análisis de la calidad interna de las naranjas.....	18
4.6 Análisis estadístico.....	19
CAPÍTULO V.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	20
5.1 Formulación de las biopelículas de <i>Manihot esculenta</i> y AE de <i>C. longa L.</i>	20
5.2 Rendimiento del almidón de Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	20
5.3 Rendimiento del aceite esencial de <i>C. longa L.</i>	21
5.4 Evaluación de las propiedades físicas de las biopelículas.....	21
5.5 Evaluación de las propiedades mecánicas de las biopelículas del almidón de <i>Manihot esculenta</i> y AE de <i>C. longa L.</i>	22

5.6 Evaluación de la efectividad antifúngica de las biopelículas en las naranjas.	24
5.6.1 Inoculación del hongo <i>Penicillium digitatum</i> por el método de aspersión.	24
5.6.2 Naranjas infectadas por el hongo <i>Penicillium digitatum</i> aplicando el método de aspersión.....	24
5.6.3 Inoculación del hongo <i>Penicillium digitatum</i> por el método de punción.	25
5.6.4 Naranjas infectadas por el hongo <i>Penicillium digitatum</i> aplicando el método de punción.....	26
5.7 Acidez titulable de las naranjas.....	26
5.7.1 Inoculación por aspersión.....	26
5.7.2 Inoculación por punción.....	27
5.8. Determinación de los °Brix de las naranjas.	28
5.8.1. Inoculación por aspersión.....	28
5.8.2 Inoculación por punción.....	28
CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Figuras del proceso de obtención del almidón de <i>Manihot esculenta</i>	37
Anexo 2: Figuras del proceso de extracción del AE de <i>C. longa L.</i>	38
Anexo 3: Figuras de la formulación de las biopelículas de almidón de <i>Manihot esculenta</i> y AE de <i>C. longa L.</i>	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Manihot esculenta</i> , <i>Publimetro Argentina</i> , Martínez (2023).....	7
-----------------------------------------------------------------------------------------	---

Figura 2: Estructura del almidón, Editorial Grudemi (2022).	8
Figura 3: Biopelículas de almidón de <i>Manihot esculenta</i> y AEC.	20
Figura 4: Aplicación del hongo <i>Penicillium digitatum</i> por aspersión e incubación.	24
Figura 5: Naranjas infectadas por el hongo <i>Penicillium digitatum</i> .	24
Figura 6: Aplicación del hongo <i>Penicillium digitatum</i> por punción e incubación.	25
Figura 7: Naranjas infectadas por el hongo <i>Penicillium digitatum</i> .	26
Figura 8: Acondicionamiento de la yuca.	37
Figura 9: Filtrado del almidón de <i>Manihot esculenta</i> .	37
Figura 10: Decantación del almidón.	37
Figura 11: Secado del almidón.	37
Figura 12: Almidón después del secado.	37
Figura 13: Pulverizado y el almacenado.	37
Figura 14: Materia prima.	38
Figura 15: Acondicionamiento de la cúrcuma.	38
Figura 16: Secado por microondas.	38
Figura 17: Extracción del AE.	38
Figura 18: AE de <i>C. longa L.</i>	38
Figura 19: Se pesó el almidón.	39
Figura 20: 50 ml de agua.	39
Figura 21: Adición del glicerol.	39
Figura 22: Incorporación del AE.	39
Figura 23: Homogenización en el calentador.	39
Figura 24: Vertido de la mezcla en el molde, para el secado.	39
Figura 25: Biopelícula.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas de las biopelículas de almidón de <i>Manihot esculenta</i> y AE de <i>C. longa L.</i>	21
Tabla 2: Propiedades mecánicas de las biopelículas, resistencia a la tracción (Peak Load, Deformation At Peak Load and Work).	22
Tabla 3: Acidez titulable por aspersión en las naranjas.	26
Tabla 4: Acidez titulable por punción en las naranjas.	27
Tabla 5: Los °Brix por aspersión en las naranjas.	28

Tabla 6: Los °Brix por punción en las naranjas.	28
------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráficas 1: Perfil de carga máxima, deformación y trabajo de las biopelículas.	23
-------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

La presencia de hongos en productos alimentarios y agrícolas plantea una amenaza constante para su calidad y seguridad. En respuesta a este desafío, la aplicación de recubrimientos antifúngicos naturales se ha vuelto esencial (Zhang et al., 2020). Desde las cubiertas de cera en la China del siglo XII hasta los films elaborados con carbohidratos y lípidos por la década de 1950 en Estados Unidos, la innovación en este campo ha sido constante. La aplicación de biopelículas se ha generalizado en diversas áreas, desde carnes y productos pesqueros hasta frutas y verduras, ofreciendo soluciones efectivas para potenciar la calidad y extender la conservación de los alimentos (C. R. M. Elena, 2014).

Este proyecto se enfoca en el análisis del impacto antifúngico de una biopelícula desarrollada con almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*, la combinación de estos materiales se presenta como una posible alternativa para la protección de productos perecederos.

El almidón, extraído de *Manihot esculenta*, ofrece propiedades particulares en la formación de biopelículas, destacando su capacidad para mejorar la barrera al aire y, así, fomentar la preservación de comestibles. La incorporación de modificaciones químicas y plastificantes se ha explorado para superar limitaciones específicas (López et al., 2013; Arrieta y Palencia, 2016). Así mismo, el almidón de yuca, en particular, ha demostrado propiedades prometedoras en biopelículas, ofreciendo flexibilidad, transparencia y rápida biodegradabilidad (Parra et al., 2004; Pagno et al., 2016).

Las propiedades antifúngicas, antibacterianas, antioxidantes, antiinflamatorias y antiparasitarias del AE de *C. longa L.* (Mesa, Ramírez-Tortosa, Aguilera, Ramírez-Boscá, & Gil, 2000), son proporcionadas por los dos principales componentes la tumerona y la a-tumerona (Coy & Acosta, 2013).

Este estudio abordó la problemática de manera integral, proponiendo la creación de películas biodegradables del almidón de yuca y la adición de AE *C. longa L.*, que integraron sus propiedades antifúngicas. Así mismo, se evaluaron las propiedades físicas (solubilidad, densidad, espesor y biodegradabilidad), mecánicas (tensión a la tracción) y su eficacia como recubrimiento antifúngico.

1.1 Antecedentes

La implementación de películas biodegradables en la preservación de comestibles ha evolucionado a lo largo de la historia, encontrando una variedad de usos que superan la preservación. A continuación, se presenta un recorrido histórico y un análisis de las aplicaciones específicas de biopelículas en diferentes contextos alimentarios. (C. R. M. Elena, 2014).

A pesar de que la empleabilidad de revestimientos comestibles en la preservación de alimentos no es una tecnología recién implementada, su utilización en el mantenimiento de la frescura de frutas y verduras cortadas ha experimentado destacados progresos durante los años. Desde la antigüedad se han aplicado diferentes revestimientos como método de conservación. En el siglo XII, en China, las cubiertas de cera fueron empleadas con el propósito de elevar la calidad y conservación de frutas. Aunque en el siglo XVI, se aplicaron cubiertas de grasa en productos cárnicos con el fin de evitar su encogimiento. En el siglo XIX, se empleó la sacarosa como una cobertura en nueces, almendras y avellanas con el fin de evitar el deterioro por oxidación y la aparición de rancidez. Después, en la década de 1930, en los Estados Unidos, se implementó la aplicación de cera caliente como recubrimiento para proteger frutas cítricas, además de emulsiones de aceite-agua destinadas a frutas frescas y vegetales. Y posteriormente, en la década del año 1950, films hechos con polisacáridos, compuestos proteicos y lípidos se utilizaron con éxito, destacando los films con lípidos (ceras y surfactantes) para impedir el paso de la humedad y controlar el escaldado en manzanas (C. R. M. Elena, 2014).

La utilización de películas biodegradables en la preservación de comestibles abarca diversas áreas, desde la carne hasta los productos pesqueros, frutas y verduras, proporcionando soluciones efectivas, elevar el estándar de calidad y extender la durabilidad de los alimentos. Estas innovaciones representan un avance significativo en la búsqueda de métodos sostenibles y seguros para la conservación de alimentos. (Alexander, 2014).

El AE de *C. longa L.*, ha sido estudiado por su actividad antibacteriana y antifúngica sobre las biopelículas aplicadas en zapallo (*Cucurbita maxima*), demostraron ser eficaces en el control de patógenos, como *Penicillium sp.* y *Cladosporium sp.*, siendo responsables de importantes pérdidas poscosecha (Sánchez-González et al., 2011; Velasco et al., 2017).

En 1978 Barnerje Nigam demostró su actividad inhibitoria sobre agentes patógenos, varios estudios demostraron la actividad antibacteriana sobre las gram positivas como: *S aureus*, *E. faecalis*, *B. subtilis* y gram negativas como: *E. coli*, *P.mirabilis* y *P. aeruginosa* siendo efectivas (Rambir, Rames, Mridula, & Pratibha, 2002; Shagufta et al, 2010; Singh y Jain, 2011; Coy & Acosta, 2013). Así mismo, se han realizado estudios que respaldan su actividad antifúngica frente a levaduras como *C. albicans*, y hongos como *A. brasiliens*. (Singh y Jain, 2011).

La incorporación del AE de *C. longa L.*, en biopelículas emerge como una estrategia prometedora para la preservación de productos alimentarios. Los estudios demuestran su capacidad en el manejo de patógenos comunes responsables de pérdidas poscosecha significativas. Las propiedades contra bacterias y hongos del aceite, documentada a lo largo de varias décadas de investigación, sugiere su potencial para incrementar la inocuidad alimentaria y extender la durabilidad de los alimentos. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de utilizar el aceite en películas comestibles como una alternativa sostenible y efectiva para preservar la calidad de los alimentos.

1.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con un informe de la UNEP (United Nations Environment Programme), en todo el mundo se desperdiciaron 931 millones de toneladas de alimentos debido a la presencia de hongos en los alimentos y productos agrícolas, que amenazan constantemente la calidad y seguridad de los alimentos (UNEP, 2021). Para contrarrestar estos problemas, se ha investigado el desarrollo de películas biodegradables a partir de polímeros naturales como estrategia para reducir el crecimiento de hongos mediante la adición de aceites esenciales con propiedades antifúngicas (Elena, 2015; Zhang et al., 2020). Además, otros estudios han demostrado que el almidón de *Manihot esculenta* tiene propiedades formadoras de biopelículas destacando su capacidad para mejorar la barrera del oxígeno y así beneficiar la conservación de los alimentos, la combinación con el AE de *C. longa* L., representa una alternativa prometedora para combatir la contaminación de alimentos por hongos (López et al., 2013; Arrieta y Palencia, 2016).

1.3 Justificación

La afectación de productos alimentarios a causa de hongos como *Aspergillus*, *Botrytis* y *Penicillium*, generan una pérdida aproximada de 931 millones de toneladas de alimentos (UNEP, 2021). Para mejorar la conservación de productos específicos se ha investigado la aplicación de películas activas en los alimentos como carnes y pescados, que se elaboraron a partir de almidones, quitosano y AE de hierbas como tomillo, canela, romero y orégano. Así mismo, se han utilizado biopelículas de ácido poliláctico y gelatina con nanopartículas con AE de tomillo, cinamaldehído, que mejoran sus propiedades, destacando el interés creciente en el AE de *C. longa* L., por sus propiedades antifúngicas, antibacterianas, antioxidantes, antiinflamatorias y antiparasitarias (Mesa, Ramírez-Tortosa, Aguilera, Ramírez-Boscá, & Gil, 2000). En esta investigación se realizó la formulación de biopelículas con almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa* L., evaluando sus propiedades físicas (solubilidad, densidad, espesor y biodegradabilidad), mecánicas (tensión a la tracción) y la eficacia de las biopelículas como recubrimiento antifúngico.

1.4 Hipótesis

La formulación de biopelículas con almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*, reducirá el crecimiento de hongos en alimentos, mejorando su conservación.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Desarrollar una biopelícula utilizando el almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*, para evaluar su eficacia como recubrimiento antifúngico.

1.5.2 Específicos

- Extraer almidón de *Manihot esculenta* con el fin de elaborar la biopelícula.
- Extraer AE de *C. longa L.*, mediante destilación por arrastre de vapor.
- Preparar las formulaciones para la producción de las biopelículas de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*
- Evaluar las propiedades físicas (solubilidad, densidad, espesor y biodegradabilidad) y mecánicas (tensión a la tracción) de las biopelículas elaboradas.
- Evaluar la eficacia de las biopelículas como recubrimiento antifúngico.

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1 Yuca (*Manihot esculenta*)

La *Manihot esculenta* es una planta perenne de las euforbiáceas cuya raíz se destaca como una valiosa reserva de carbohidratos almacenados en forma de almidón, se usa extensivamente en la producción industrial de alimentos (Mina Yanqui, 2019).



Figura 1: *Manihot esculenta*, Publimetro Argentina, Martínez (2023)

2.2 Almidón

El almidón es un compuesto polimérico que se encuentra en una gran cantidad en el entorno natural, formando una parte considerable del 60%, la composición de los granos de cereales, se separa sin dificultad de otros elementos presentes. Cuando se calienta en agua, la amilopectina y la amilosa del almidón se solubilizan parcialmente, y si se encuentran en exceso de agua a temperaturas de 65-100 °C, se presenta un proceso irreversible de gelatinización, necesario para obtener una solución homogénea formadora de biopelícula (Arvanitoyannis y Kassaveti, 2009).

2.2.1 Composición del Almidón

El almidón en su forma natural, conformado por amilosa y amilopectina, exhibe propiedades particulares. La amilosa, un polisacárido formado por unidades de glucosa, tiene la capacidad de crear biopelículas sólidas, isotrópicas y sin olor ni color. En cambio, la amilopectina, un polímero altamente ramificado, conduce a biopelículas con propiedades mecánicas más débiles (Durrani y Donald, 1995; Liu, 2005; Campos et al., 2011).

2.3 Almidón de yuca

El almidón de *Manihot esculenta*, un polisacárido natural obtenido de la raíz de la yuca, se presenta como un material muy adaptable con aplicaciones notables en la formación de biopelículas biodegradables (Gontard, 1993).

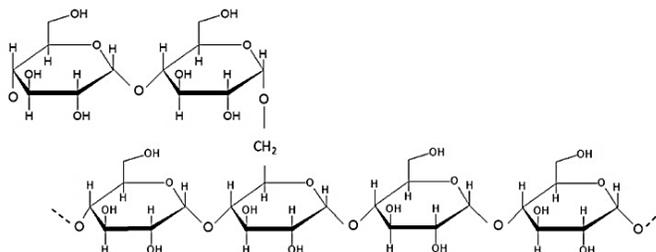


Figura 2: Estructura del almidón, Editorial Grudemi (2022).

2.3.1 Almidón de *Manihot esculenta* en biopelículas

Se logra obtener biopelículas de almidón de *Manihot esculenta* en excelentes características de maleabilidad y resistencia a la humedad y al oxígeno. Estas biopelículas poseen buena homogeneidad, flexibilidad, transparencia y exhiben una rápida biodegradabilidad (Parra et al., 2004; Pagno et al., 2016).

2.4 Biopelículas

Es una fina capa de compuestos biodegradables que protege al producto y extiende su vida útil al proporcionar una barrera contra gases y vapor de agua. Las biopelículas alimentarias tienen propiedades de extensibilidad, impermeabilidad al agua, permeabilidad al vapor de agua y protección del oxígeno (Zhou, 2011; Xochitlanezi, 2020).

2.4.1 Método de casting para la producción de las biopelículas.

La producción de biopelículas a partir de almidón, el método de casting, se presenta como una técnica comúnmente utilizada. Este proceso implica la formación de biopelículas mediante la extensión y secado de una dispersión del polímero, que incluye componentes como los plastificantes (Bertuzzi et al., 2007; Jiménez et al., 2012).

Esta metodología para obtener biopelículas de almidón mediante casting involucra varias etapas, entre las cuales, se encuentran la gelatinización, dispersión, homogenización, estiramiento y deshidratación.

- La gelificación del almidón es esencial para la liberación de compuestos macromoleculares de los componentes de los cereales, y la temperatura de este fenómeno varía según el tipo de almidón utilizado.
- La homogenización de la combinación es crucial y está influenciada por los elementos introducidos en la dispersión de almidón.
- Al controlar con precisión los parámetros de temperatura y el nivel de humedad, la dispersión se esparce sobre una superficie plana, permitiendo que se seque y forme un recubrimiento.

2.4.2 Propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas

2.4.2.1 Espesor

La mayoría de las biopelículas comestibles son hidrófilas. Se ha encontrado una correlación positiva entre la permeabilidad al vapor de agua y el espesor de la biopelícula. Supone que a medida que aumenta el espesor, aumenta la resistencia a la transferencia de masa a través de la biopelícula y, por lo tanto, aumenta la presión parcial de equilibrio del vapor de agua en la superficie inferior del recubrimiento. Otros autores han atribuido el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento causados por la expansión del agua en el polímero. Las propiedades de barrera de una película varían dependiendo de su espesor, ya que el espesor determina la distancia que los permeantes (vapor de agua y gases) deben recorrer para difundirse de un lado de la película al otro (Carmen, 2020).

2.4.2.2 Solubilidad

La solubilidad es una medida que indica la cantidad máxima de un soluto que puede disolverse en un disolvente a una temperatura determinada. Esta propiedad es muy importante para evaluar la funcionalidad de las biopelículas. En particular, la resistencia al agua de las biopelículas que contienen agentes antimicrobianos es particularmente importante para mantener la integridad de la biopelícula, especialmente cuando se usa para la conservación de alimentos en condiciones de humedad moderada o alta (Carmen, 2020).

2.4.2.3 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad de las películas, se destaca la distinción entre polímeros no degradables, derivados de compuestos petroquímicos, polímeros biodegradables y de origen natural. Estos últimos son utilizados en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles, lo que

permite la degradación del material mediante la exposición a diversos factores ambientales. La biodegradabilidad se define como la capacidad del material para descomponerse en componentes como dióxido de carbono, metano, agua y biomasa, principalmente debido a la acción enzimática de microorganismos. Esto se evalúa mediante ensayos estandarizados que consideran períodos y condiciones específicas de almacenamiento (Escobar,2009; López, 2010).

2.4.2.4 Densidad

La densidad de biopelícula puede entenderse como el número de células por unidad de volumen de biopelícula o el peso (biomasa) de células por unidad de volumen de biopelícula. Esta medición es importante para diversas propiedades, como tasas de respuesta de volumen, porosidad, difusión, estabilidad mecánica y resistencia al estrés químico (Li et al., 2023).

2.4.2.5 Tensión a la tracción

Las propiedades mecánicas de las películas comestibles, se destacan varios parámetros importantes para su caracterización. Estos incluyen la resistencia a la tensión, que indica la fuerza necesaria para romper la película por estiramiento; la elongación, que representa la capacidad de la película para estirarse antes de romperse; y el módulo de Young, que cuantifica la rigidez y compresibilidad del material. Estas propiedades mecánicas son influenciadas en gran medida por las propiedades a nanoescala de las películas, y en las últimas décadas se han desarrollado técnicas de caracterización con alta resolución espacial, como la nanoindentación y la microscopía de fuerza atómica (AFM), para evaluar las propiedades elásticas y viscoelásticas locales de los materiales (Porta, 2016; Zlotnikov, 2017).

2.5 El AE de *Cúrcuma longa* L.

La *C. longa* L., integrante a la familia Zingiberaceae, es comúnmente empleada en la cocina oriental como colorante y aromatizante. Sus rizomas son apreciados no solo por sus propiedades sensoriales, sino también por su valor en la cosmética y la medicina tradicional. Obtenido de los tubérculos, el AE de *C. longa* L., exhibe una diversa y cambiante combinación de sustancias orgánicas volátiles. Su pureza y características físico-químicas, como su color amarillo pálido a naranja amarillento y su aroma cálido, picante y especiado con reminiscencias de jengibre amaderado, lo convierten en un componente valioso (Angel, Menon, Vimala, & Nambisan, 2014; Patricia, 2018).

2.6 Naranjas

La naranja (*Citrus sinensis*) es uno de los cítricos más susceptibles a la contaminación por agentes patógenos, representan un desafío crítico para la industria de cítricos y las complicaciones postcosecha que presenta. Los cítricos, son un cultivo de alta importancia económica en la región del Mediterráneo, se ven afectados por los hongos *Penicillium italicum* y *Penicillium digitatum*, causantes del moho azul y verde se identifican como los principales responsables de pérdidas significativas poscosecha de cítricos (Porat y Coh., 2000).

2.6.1 Análisis fisicoquímico de la naranja

2.6.1.1 Acidez titulable

La acidez titulable en jugos de frutas es un parámetro importante al determinar la madurez y el sabor amargo de jugos de frutas. La madurez de las frutas es uno de los factores más importantes para determinar que tan bien se almacenará la fruta y su sabor. Según algunas regulaciones se tiene como estándar de calidad (basado en la acidez titulable y la tasa de los °Brix). La fruta inmadura tendrá una tasa de azúcar-ácido baja comparada con la fruta madura (Shaik et al., 2023).

2.6.1.2 Grados Brix

El porcentaje de azúcar y otros sólidos disueltos en una solución, se determina mediante el total de sólidos solubles (TSS), comúnmente medido en °Brix. En la industria alimentaria, esta medida se emplea para evaluar la cantidad de azúcar en jugos de frutas. La medición de los TSS se realiza típicamente con un refractómetro digital, expresando el resultado en °Brix, la unidad estándar para los sólidos solubles (Shaik et al., 2023).

CAPÍTULO III.- ESTADO DEL ARTE

Varios autores han reportado el uso de formulaciones de biopelículas. Con el fin de optimizar las características de las biopelículas.

Formulación	Características de las biopelículas	Resultados	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Almidón de yuca ✓ Gelatina 	Presentó una mejora en las características mecánicas.	Las biopelículas mostraron un incremento en la dureza, además de resistencia a la fractura.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Al-Hassan and Norziah et al., (2012).
<ul style="list-style-type: none"> ● Almidón de yuca ● Glicerol ● Sorbitol 	Presentó una mejora en las características mecánicas.	Ayudó a mejorar la fragilidad.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mbey et al., (2012).
<ul style="list-style-type: none"> ● Almidón de yuca ● Bentonita de sodio ● AE de canela 	Mayor efectividad antifúngica.	Demostró un mayor potencial antibacteriano y se aplicó para evaluar la vida útil de las albóndigas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iamareerat et al., (2018).
<ul style="list-style-type: none"> ● Almidón de yuca ● AE de clavo ● Pectina cítrica 	Resistencia al agua.	Los cuales mejoraron la capacidad de repeler el agua de los films compuestas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nisar et al., (2018).
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidón de yuca ➤ Quitosano ➤ AE de canela 	Permeabilidad al intercambio gaseoso.	Retrasó la velocidad de respiración y la liberación de etileno, la cantidad de materia en suspensión, la acidez total, el índice de maduración y el color.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Madera et al., (2019).
<ul style="list-style-type: none"> ○ Almidón de yuca ○ Quitosano ○ AE de naranja 	Mejóro las características de protección	Se mejoró la resistencia al agua.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aydogdu et al., (2020).
<ul style="list-style-type: none"> ○ Almidón de yuca ○ Hidroxipropil 	Mejóro las características de protección contra el oxígeno.	Mostró una extensión hasta la fractura, la capacidad de repeler el agua y la coeficiencia en la dispersión de vapor de acuoso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zhou et al., (2021).
<ul style="list-style-type: none"> ● Almidón de palma de azúcar ● Nanocelulosa de palma de azúcar ● AE de canela 	Mejóro las características mecánicas de las películas compuestas.	Descubrió, al agregar AE de canela podría mejorar la resistencia al agua.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Syafiq et al. (2021).

Varios autores han reportado que al aplicar películas en los productos como: carnes, pescados y frutas, verduras ayuda a mejorar la conservación de ellos.

Aplicaciones	Películas	Resultados	Referencia
En carnes: ✓ Jamón curado	<ul style="list-style-type: none"> ● Quitosano ● AE de tomillo 	Se conservó de ternera y evitaron el desarrollo microbiano.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ruiz-Navajas et al., (2015).
	<ul style="list-style-type: none"> ● Quitosano ● AE de canela 	Demostró, la eficacia de biopelículas como antifúngico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ojagh et al., (2010).
	<ul style="list-style-type: none"> ● Quitosano ● Ácido poliláctico ● AE de romero 	Realizaron, pruebas evitar oxidación, crecimiento microbiano y pérdida de calidad organoléptica.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fiore et al., (2021).
En pescado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quitosano ✓ AE de orégano 	Se preservó pescado altamente susceptible al deterioro.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ojagh et al., (2010).
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alginato ○ Taninos 	Se preservó filetes de trucha arcoíris, logrando efectos antioxidantes potentes.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sáez et al., (2020).
Frutas y verduras	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ácido poliláctico ➤ Cinamaldehído ○ 	Se retrasó la pérdida de agua.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zhang et al. (2020).
	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Gelatina ❖ Nanopartículas de ácido poliláctico ❖ AE de tomillo 	Demostró su capacidad para reducir la presencia de microorganismos en trozos de manzana contaminada con <i>E. coli</i> .	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sáez-Orviz et al. (2020).

CAPÍTULO IV.- METODOLOGÍA

4.1. Obtención y acondicionamiento de la materia prima.

Se adquirieron 3 kg de yuca (*Manihot esculenta*), fue adquirido en el mercado local de Álamo Temapache, se limpió con agua potable para separar la tierra de las impurezas presentes en las raíces, se removió la cáscara y se cortó en trozos pequeños para su posterior uso. Se calculó el rendimiento de la extracción mediante la siguiente fórmula (Cano-Botero et al., 2023):

$$\%R = \frac{M (g) AE}{M (materia\ vegetal)} * 100\%$$

Donde:

Masa AE = Peso en g del Aceite esencial

Masa= Peso en g de la materia prima

Se consiguieron 3 kg de *Cúrcuma longa L.*, en el mercado local de Álamo Temapache, se lavaron y cortaron en rodajas para su posterior uso. Se calculó el rendimiento de la extracción mediante la fórmula (Cano-Botero et al., 2023):

$$\%R = \frac{M (g) AE}{M (materia\ vegetal)} * 100\%$$

Donde:

Masa AE = Peso en g del Aceite esencial

Masa = Peso en g de la materia prima

Para evaluar la capacidad antifúngica de las biopelículas, se seleccionaron 33 naranjas (*Citrus cinensis*), de buen tamaño y color, compradas en el mercado local de Tuxpan Ver., para la posterior aplicación de las biopelículas con diferentes concentraciones de AE de *C. longa L.* (0.1%,0.2%,0.3%), una sin AE., y un control que no tuvo biopelícula.

4.1.1 Obtención del almidón de Yuca (*Manihot esculenta*).

Los trozos de *Manihot esculenta* se trituraron en una licuadora Oster, durante 7 minutos a máxima velocidad., en una proporción 1:2 *Manihot esculenta* – agua, posteriormente se filtró usando manta de cielo, se dejó decantar durante 1 h, y se retiró el sobrenadante con ayuda de una jeringa, posteriormente, se enjuagó el precipitado, repitiendo el proceso de decantación

hasta que el agua fue translúcida. El almidón obtenido se secó a 60 °C durante 20 horas. Finalmente, el almidón se molió usando un molino de bolas (Pascall engineering ltd, modelo 1600-vs-B) durante 20 minutos a una velocidad de 45 rpm, para obtener un almidón fino y uniforme.

4.1.2 Extracción del aceite esencial de *Cúrcuma longa L.*

La *C. longa L.*, se deshidrató empleando un microondas a una intensidad de 800 watts durante 5 minutos completando un periodo de 30 minutos. Se pesaron 3 kg de *C. longa L.*, y se colocaron en la columna del sistema de extracción por arrastre de vapor asistido por microondas. La extracción inició con una potencia de 1000 watts durante 20 minutos (esto con el fin de alcanzar la temperatura de ebullición), posteriormente se trabajó con una potencia de 600 watts manteniendo por ciclos de 20 minutos, por un periodo de 2 horas. Por último, el aceite esencial se colocó en el frasco ámbar con una capacidad de 49 ml, para luego almacenarlo a temperatura ambiente.

4.2 Formulación de las biopelículas de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*, utilizando el método de casting.

Se formularon tres tratamientos que consistieron en soluciones formadoras de biopelículas con diferentes concentraciones de AE de *C. longa L.* (AEC 0.1%, 0.2%, 0.3%) y un testigo que no contenía aceite esencial.

Se pesaron 2.5 g de almidón de *Manihot esculenta*, se vertieron en 50 ml de agua purificada, se incorporó un 1% de glicerol y se agregó el AE a las concentraciones antes descritas. La mezcla se homogenizó en agitación constantemente durante 6 minutos, hasta llegar a 70°C, después, se dejó enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, las soluciones de diferentes concentraciones se vierten en moldes de silicona, y se secaron a 40°C por un periodo de 6 horas. Posteriormente se despegaron cuidadosamente las biopelículas de los moldes de silicona, las cuales se midieron sus propiedades físicas y mecánicas.

4.3 Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas.

4.3.1 Espesor

La determinación del espesor se realizó utilizando un medidor digital de espesor de revestimientos, modelo D-2000UM, con este se midieron las partes superiores, centrales e inferiores de las 4 formulaciones de las biopelículas (0.1%, 0.2%, 0.3% de AEC y el testigo), de forma aleatoria.

4.3.2 Solubilidad

Las biopelículas se recortaron en medidas de 2 x 2 cm, se realizaron mediciones de peso (M1) y después, fueron situados en 50 ml de agua desionizada, durante 1 hora. Posteriormente, se sacaron y se metieron al secador a una temperatura de 40°C por 15 minutos, después de lo cual se pesó nuevamente (M2). La solubilidad se determinó aplicando la siguiente fórmula (Palma-Rodríguez et al., 2017):

$$S = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100 \%$$

Donde:

M1= Peso de la biopelícula antes de la disolución

M2= Peso de la biopelícula después de la disolución

S= Solubilidad en agua (%)

4.3.3 Biodegradabilidad en el suelo

Las biopelículas de 2 x 2 cm, se pesaron, se identificaron y se introdujeron horizontalmente a una profundidad de 15 cm en una maceta con tierra negra. En el transcurso de trece días fueron atomizados cada 2 días con agua potable. Al cabo de 4 días, las biopelículas se desenterraron cuidadosamente, se limpiaron de las partículas del suelo de la superficie y se pesaron, posteriormente se enterraron de nuevo. El proceso se repitió al treceavo día. La biodegradabilidad en el suelo se determinó aplicando la siguiente fórmula (Lorenzo, 2021):

$$(\%) \text{ de pérdida de peso} = \frac{w_i - w_d}{W_i} \times 100 \%$$

Donde:

W_i = Peso seco inicial

W_d = Peso seco de la biopelícula

4.3.4 Densidad

La densidad se determinó a través de la medición del peso y las dimensiones (volumen) de las biopelículas, y se consideraron los valores promedio de tres determinaciones (Salgado, P. R., Ortiz, S. E. M., Petruccelli, S., & Mauri, A. N. 2010).

4.3.5 Tensión a la tracción (Peak Load, Deformation At Peak Load and Work)

Las muestras se cortaron en formas rectangulares de 2 cm x 1 cm, posteriormente, fueron almacenadas en el desecador durante 5 días para asegurar una humedad uniforme. Una vez completado este período, se llevaron a cabo las pruebas de tensión uniaxial en las biopelículas, para evaluar la resistencia a la ruptura, las pruebas mecánicas se realizaron en el texturometro (Brookfield Ametek CTX), con una velocidad de 1mm/seg, distancia de 30 mm y una carga de 5 g (Trigger).

4.4 Obtención del material biológico.

El material biológico se obtuvo a partir de una muestra de naranja infectada de moho verde (*Penicillium digitatum*), se introdujo en un medio de cultivo llamado Agar PD y se mantuvo a 26°C hasta su utilización.

4.4.1 Preparación de la suspensión de esporas en la aplicación de recubrimientos de las biopelículas en las naranjas.

Se preparó una disolución con una concentración de 2.9750×10^4 esporas/cm³ en 50 ml de agua purificada, posteriormente, se procedió a agitar a una velocidad de 9 rpm durante 30 minutos, con el fin de homogeneizar la solución.

4.4.2 Aplicación de las biopelículas sobre naranjas y almacenamiento en frío.

4.4.2.1 Inoculación por aspersión

Se seleccionaron 11 naranjas y se aplicaron biopelículas con diferentes concentraciones de 0.1%, 0.2% y 0.3% de AE de *C. longa L.*, (por triplicado), una sin AE y un control. Después, en un atomizador de 500 ml, se añadió 50 ml de la suspensión de esporas y se roció por aspersión. Posteriormente, se secaron a temperatura ambiente en un lapso de 35 minutos. Se incubaron las naranjas en refrigeración a 16.5°C y un índice de humedad relativa del 66%. Diariamente se revisó la durabilidad de la biopelícula y se verificó sino había señales de infección por *Penicillium digitatum*. El ensayo duro un periodo de 15 días.

4.4.2.2 Inoculación por punción

Se seleccionaron 11 naranjas sin biopelículas, se inocularon con el uso de una varilla de acero inoxidable de 45 cm, previamente sumergida en la suspensión de esporas. Se punzo la naranja con la punta de la varilla hasta llegar al centro y se inocularon durante 24 horas a una temperatura de 16.5°C y un nivel de humedad de 66% en refrigeración. Posteriormente, se aplicaron las biopelículas con concentraciones de 0.1%, 0.2% y 0.3% de AE de *C. longa L.*, (por triplicado), una sin AE y un control. Diariamente se revisó la durabilidad de la biopelícula y se verificó sino había señales de infección por *Penicillium digitatum*. El ensayo se realizó en un lapso de 15 días.

4.5. Análisis de la calidad interna de las naranjas

La calidad interna de las naranjas fue analizada midiendo la acidez titulable, aplicando la siguiente formula (Russián, 2009):

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_{\text{NAOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{meq}_{\text{ácido x}} * 100}{V}$$

Las milis equivalentes de base a ácido para el ácido cítrico son: 0.064

Donde:

V_{NAOH} = Se refiere a la calidad, en mililitros, de base NAOH consumida.

N_{NaOH} = Corresponde a la concentración de la Normalidad del NAOH.

$\text{Meq}_{\text{ácido x}}$ = miliequivalentes de ácido.

Para medir el contenido de sólidos (°Brix) de las naranjas, después de 15 días de almacenamiento, se utilizó un refractómetro (Hand Held Refractometers, Bellingham + Stanley Ltd).

4.6 Análisis estadístico

Para el análisis de varianza y la comparación de medias por Tukey de las propiedades físicas, mecánicas de las formulaciones y la aplicación de las biopelículas, se utilizó el software MINITAB (Minitab 18.1).

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1 Formulación de biopelículas de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*

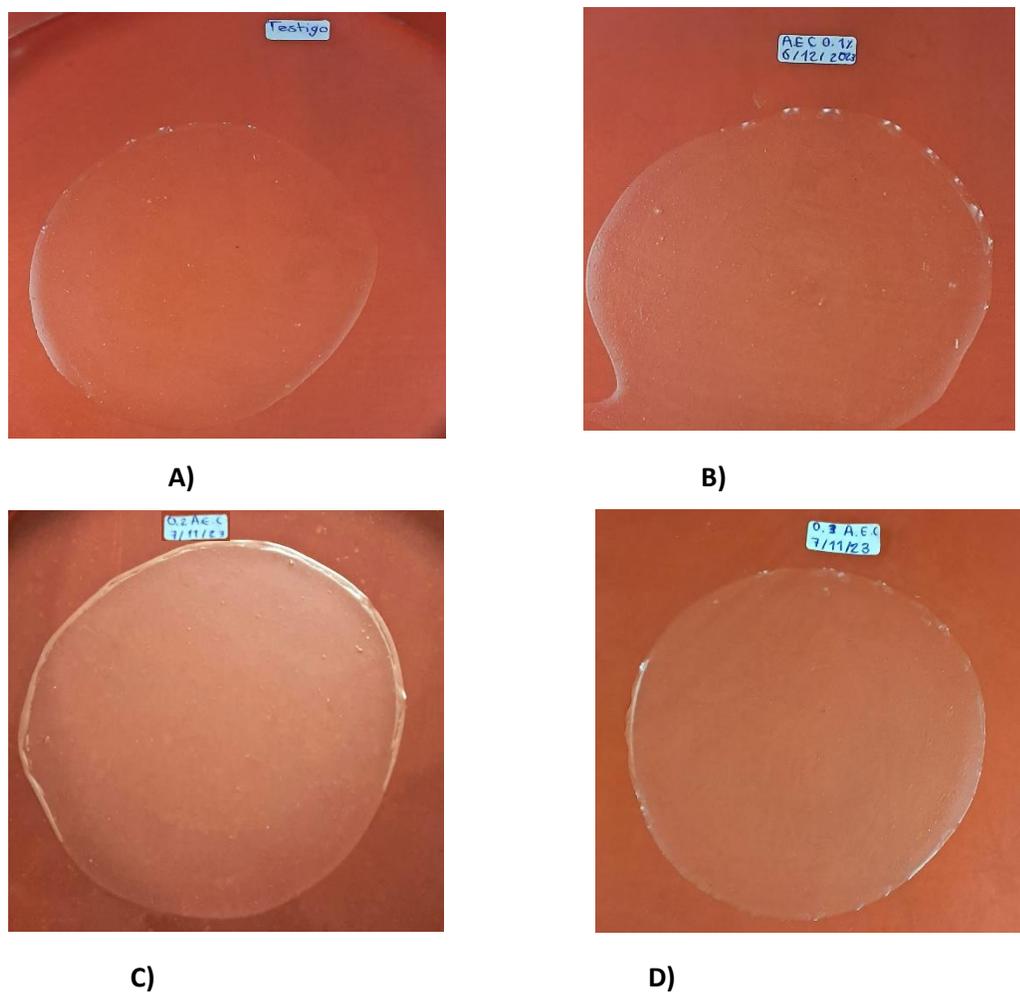


Figura 3: Biopelículas de almidón de *Manihot esculenta* y AEC.

Como se puede apreciar en la figura 3, se obtuvieron 4 biopelículas con diferentes concentraciones de AE (*C. longa L.*). La biopelícula del inciso A) sin AEC, B) concentración del 0.1%, C) concentración del 0.2% y el D) concentración del 0.3%. Se observaron biopelículas delgadas, resistentes y una apta transparencia. No presenta adherencia al tacto.

5.2 Rendimiento del almidón de Yuca (*Manihot esculenta*).

Desde una masa de 3 kg de materia prima de *Manihot esculenta*, se obtuvo un rendimiento del 80%.

5.3 Rendimiento del aceite esencial de *C. longa L.*

A partir de 3 kg de materia prima de cúrcuma, se obtuvieron 7.2 ml de AE de *C. longa L.*, lo que representa un rendimiento del 0.19% que se encuentra dentro del rango del rendimiento de AE (López Luengo, M. T., 2004).

5.4 Evaluación de las propiedades físicas de las biopelículas

Tabla 1: Características físicas de las biopelículas de almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*

Tratamiento	Solubilidad (%)	Biodegradabilidad (%)	Espesor (mm)	Densidad g/cm ³
Testigo	29± 6.185 ^a	63±0.385 ^a	0.211±0.036 ^a	1.20±0.424 ^a
1) A.E.C 0.1 %	35±0.242 ^a	74±0.211 ^a	0.240±0.043 ^a	1.68±0.140 ^a
2) A.E.C 0.2 %	14±0.00 ^b	100±0.00 ^a	0.226±0.028 ^a	0.77±0.019 ^b
3) A.E.C 0.3 %	39±6.027 ^a	81±0.271 ^a	0.233±0.036 ^a	1.46±0.054 ^a

Las letras distintas indican que son estadísticamente diferentes.

Los valores de solubilidad (tabla 1) son aceptables para mantener la integridad del alimento, principalmente en alimentos de baja humedad, así mismo, se encuentran en el rango (14 hasta el 60% de solubilidad) reportado por otros autores (Pérez-Gago y col 1999; Oliveira, 2009). El análisis estadístico no reveló diferencias significativas ($p>0.05$) entre el testigo, los tratamientos 1 y 3, pero si hubo diferencia significativa con el tratamiento 2.

Respecto a la biodegradabilidad de las biopelículas, se obtuvo un porcentaje de biodegradación entre el 63 y 100% cuando estuvo en contacto con el suelo, durante 7 días. El análisis estadístico, no reveló diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos. De acuerdo lo reportado por otros autores, cuanto mayor sea el contenido de humedad, mayor será la descomposición, lo que también favorecerá el crecimiento de los microorganismos (bacterias, actinomicetos, hongos y protozoos) en el suelo, lo que promueve la degradación de las biopelículas de almidón y glicerol, que contienen compuestos hidrofílicos y carbohidratos (Martucci y Ruseckaite, 2009; Maran et al., 2014; Seligra et al., 2016).

El espesor y la densidad de las biopelículas varió en base con la concentración de AE de *C. longa L.* Se observó que estas variaciones estaban vinculadas con la formación de microgotas, que ocurren al mezclar AE con almidón. Estas microgotas forman cúmulos, que afectan el

espesor de la película, por lo que en el futuro se recomienda una mejor homogeneización en las matrices de almidón y plastificantes (Valizadeh, Naseri y Babaei, 2019). El análisis estadístico no reveló diferencias significativas ($p > 0.05$) en el espesor de la biopelícula, que varía entre 0.211 y 0.240 mm. La densidad mostró ser significativamente diferente entre el tratamiento 2 y los demás tratamientos.

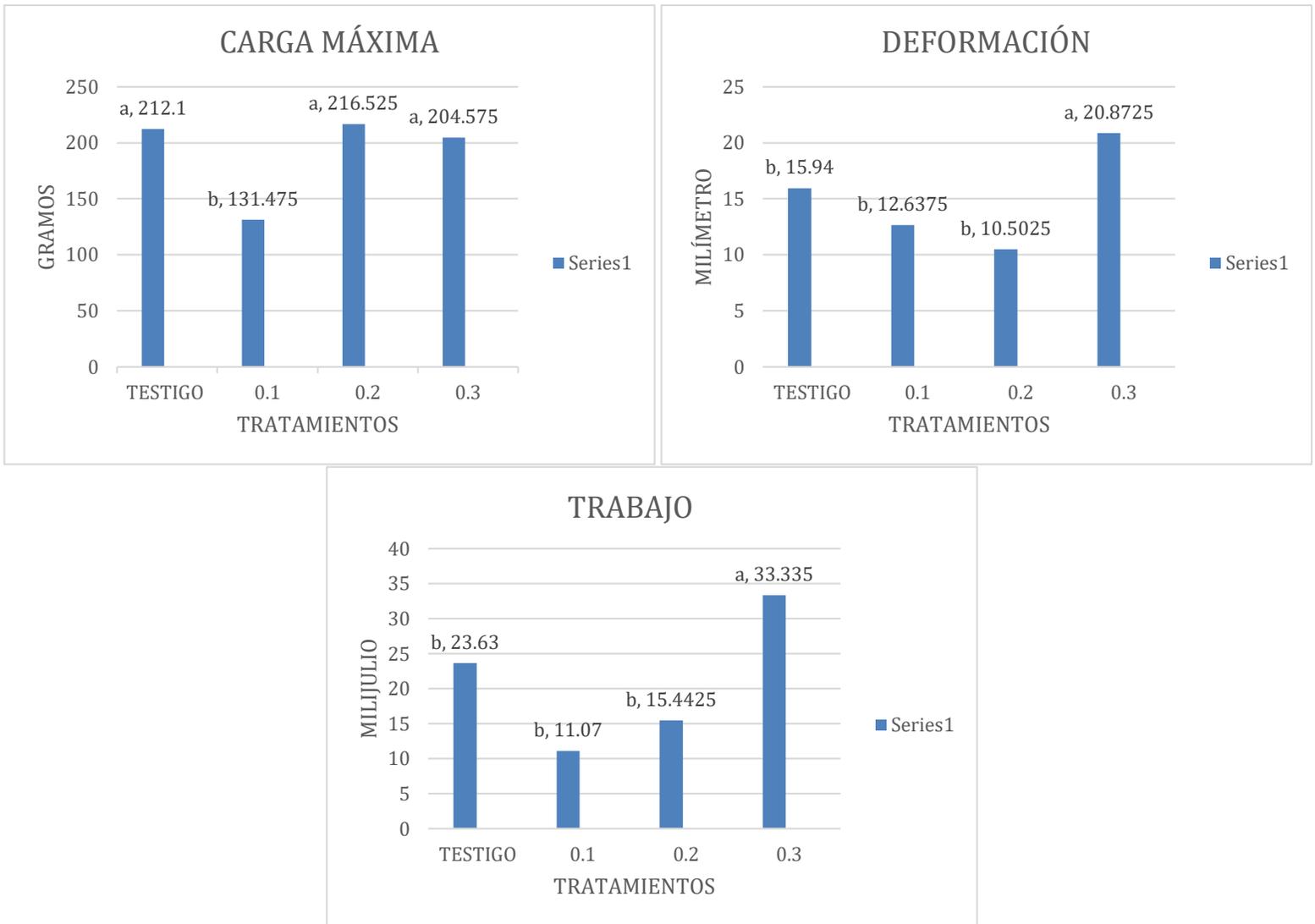
5.5 Evaluación de las propiedades mecánicas de las biopelículas del almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa* L.

Tabla 2: Propiedades mecánicas de las biopelículas, resistencia a la tracción (Peak Load, Deformation At Peak Load and Work).

Tratamiento	Carga máxima (g)	Deformación (mm)	Trabajo (mJ)
Testigo	212.1± 13.65 ^a	15.94±2.69 ^b	23.63±8.79 ^b
1) A.E.C 0.1 %	131.47±14.15 ^b	12.63±1.31 ^b	11.07±1.57 ^b
2) A.E.C 0.2 %	216.52±26.00 ^a	10.50±2.23 ^b	15.44±6.87 ^b
3)A.E.C 0.3 %	204.57± 11.68 ^a	20.87± 5.25 ^a	33.34±4.75 ^a

Las letras distintas indican que son estadísticamente diferentes.

En la tabla 2 y grafica 1, se presentaron las mediciones de resistencia a la tracción, que incluyen carga máxima, deformación y trabajo. En la carga máxima, se observó que el tratamiento 1 exhibió una menor fuerza de tracción en la biopelícula en comparación con los otros tratamientos, siendo estadísticamente diferente de los tratamientos 2, 3 y testigo. Por otro lado, el tratamiento 3 demostró una mayor resistencia a la deformación antes de la ruptura, el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($P<0.05$), en comparación con los demás tratamientos. Además, el tratamiento 3 exhibió un mayor trabajo necesario para deformar las biopelículas, con diferencias significativas respecto a los otros tratamientos.



Gráficas 1: Perfil de carga máxima, deformación y trabajo de las biopelículas.

5.6 Evaluación de la efectividad antifúngica de las biopelículas en las naranjas.

5.6.1 Inoculación del hongo *Penicillium digitatum* por el método de aspersión.



Figura 4: Aplicación del hongo *Penicillium digitatum* por aspersión e incubación.

En la figura 4, se observó la aplicación del hongo *Penicillium digitatum* por el método de aspersión sobre las biopelículas con diferentes concentraciones de AE (*C. longa L.*), una sin AEC y un control. Para la incubación se llevaron a refrigeración a 16.5°C de temperatura y con un 66% de humedad relativa.

5.6.2 Naranjas infectadas por el hongo *Penicillium digitatum* aplicando el método de aspersión.



Figura 5: Naranjas infectadas por el hongo *Penicillium digitatum*.

En la figura 5, se observa que las naranjas presentaron poca oxidación en el color y signos de deshidratación o pérdida de volumen en las cáscaras. Por otro lado, hubo crecimiento del hongo *Penicillium digitatum* en solo 2 naranjas de 0.3% AEC, esto representó un 88.88% de efectividad, demostrando que las biopelículas son una barrera protectora antifúngica efectiva. Las biopelículas en las naranjas mantuvieron su integridad durante 6 días sin desprenderse ni romperse.

5.6.3 Inoculación del hongo *Penicillium digitatum* por el método de punción.



Figura 6: Aplicación del hongo *Penicillium digitatum* por punción e incubación.

En la figura 6, se aplicó el hongo *Penicillium digitatum* por el método de punción sobre las biopelículas con diferentes concentraciones de AE (*C. longa L*), una sin AEC y un control. Para la incubación se llevaron a refrigeración a una temperatura de 16.5°C y una humedad relativa de 66%.

5.6.4 Naranjas infectadas por el hongo *Penicillium digitatum* aplicando el método de punción



Figura 7: Naranjas infectadas por el hongo *Penicillium digitatum*.

En la figura 7, las naranjas demostraron mejor coloración, una cáscara en un buen estado y sin daños aparentes. Por otro lado, no presentó crecimiento del hongo *Penicillium digitatum* en las naranjas. Como resultado las biopelículas de las naranjas demostraron ser más efectivas en el recubrimiento antifúngico, a pesar de ser expuestas por el método de punción.

5.7 Acidez titulable de las naranjas

5.7.1 Inoculación por aspersión

Tabla 3: Acidez titulable por aspersión en las naranjas.

Tratamiento	Acidez titulable
Control	0.52
Testigo	0.64
1) 0.1% AEC	0.64
2) 0.2% AEC	0.69
3) 0.3% AEC	0.57

Los niveles de acidez titulable en la tabla 3, mostraron que las naranjas variaron según los diferentes tratamientos aplicados. Para control, se registró un valor de 0.52 y el tratamiento 3 del 0.57, presentaron una relación estrecha. En los tratamientos 1, 2 y testigo estuvieron entre 0.64, 0.69 y 0.64 respectivamente.

5.7.2 Inoculación por punción

Tabla 4: Acidez titulable por punción en las naranjas.

Tratamiento	Acidez titulable
Control	0.64
Testigo	0.47
1) 0.1% AEC	0.6
2) 0.2% AEC	1.21
3) 0.3% AEC	0.48

En la tabla 4, se observaron variaciones en los resultados de acidez titulable. Se observó que entre el control y el tratamiento 1, no mostró mucha variación. Por otro lado, tanto el tratamiento 3 como el testigo mostraron valores cercanos, mientras que el tratamiento 2 mostró un aumento notorio.

Basándose en los criterios previamente establecidos por Flores en 2010, los resultados de acidez cumplen con los estándares mínimos requeridos. Como se observaron en las tablas 3 y 4, el método de aspersión mostró una acidez titulable más alta (0.69), en la concentración de 0.2 de AE de *C. longa L.*, mientras que en el método de punción demostró una acidez titulable significativamente mayor (1.21), de la misma concentración. Esto sugiere que el método de punción puede tener un impacto más notable en la acidez titulable en comparación con el método de aspersión.

5.8. Determinación de los °Brix de las naranjas.

5.8.1. Inoculación por aspersión

Tabla 5: Los °Brix por aspersión en las naranjas.

Tratamiento	° Brix
Testigo	10.75± 1.061 ^a
1) A.E.C 0.1 %	9.58±1.021 ^a
2) A.E.C 0.2 %	8.91±1.114 ^a
3) A.E.C 0.3 %	8.75± 1.332 ^a

Las letras distintas indican que son estadísticamente diferentes.

5.8.2 Inoculación por punción

Tabla 6: Los °Brix por punción en las naranjas.

Tratamiento	° Brix
Testigo	10.75± 1.061 ^a
1) A.E.C 0.1 %	10.16±0.753 ^a
2) A.E.C 0.2 %	9.41±0.917 ^a
3) A.E.C 0.3 %	9.91± 0.917 ^a

Las letras distintas indican que son estadísticamente diferentes.

El valor de los °Brix de las naranjas, después de 15 días de tratamiento se presentaron en las tablas 5 y 6, el análisis estadístico no reveló diferencias significativas ($p>0.05$) entre los métodos de aspersión y punción. Por otro lado, de acuerdo con Ehsani et al. (2023), el valor de los °Brix para las naranjas maduras es entre 8 y 15 °Brix. Por lo tanto, las diferentes concentraciones de AE de *C. longa L.* en las biopelículas no afectaron los °Brix.

CONCLUSIONES

El proceso para adquirir la biopelícula, se utilizó almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa L.*, demostró ser eficiente, con rendimientos del 80% en *Manihot esculenta* y del 0.19% en AE. Las formulaciones de tres tratamientos con diferentes concentraciones de AE permitieron obtener biopelículas delgadas, resistentes y transparentes, Así mismo, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas, como el espesor, solubilidad, biodegradabilidad en el suelo, densidad y tensión a la tracción. La formulación 2 destaca por presentar una menor solubilidad, indicando una posible mejora en la integridad del producto y permeabilidad al agua. El espesor y la densidad de las biopelículas varió con la adición de AE de *C. longa L.*, sin embargo, el análisis estadístico revela que no afecta significativamente ($p > 0.05$) al espesor, pero en la densidad si mostró diferencia significativa. Es importante destacar que, a pesar de las variaciones en las propiedades físicas, la biodegradabilidad de las biopelículas se mantuvo alto (63 al 100%), lo que respalda su potencial como alternativa opción amigable con el entorno. El tratamiento 3 aplicado en las biopelículas demostró ser el más efectivo en términos de carga máxima, deformación y trabajo. La aplicación de las biopelículas como recubrimiento antifúngico tuvo un efecto favorable en las naranjas por el método de aspersion, debido a que mantuvo la acidez de las naranjas. Por otro lado, las diferentes concentraciones (0.1, 0.2, 0.3) de AE de *C. longa L.*, no afectaron significativamente el contenido de sólidos ($^{\circ}$ Brix) en las naranjas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexander, Z. C. G. (2014). Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia. Biblioteca Digital Universidad del Valle. <https://hdl.handle.net/10893/17676>.
2. Al-Hassan A, Norziah MH. 2012. Starch–gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids* 26(1):108-117.
3. Angel, G. R., Menon, N., Vimala, B., & Nambisan, B. (2014). Essential oil composition of eight starchy curcuma species. *Industrial Crops and Products*, 60, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.028>.
4. Arvanitoyannis IS, Kassaveti A (2009) Starch-cellulose blends. In: Yu L (ed) *Biodegradable polymer blends and composites from renewable resources*. Wiley, New York, pp 19–53.
5. Arrieta, Álvaro A. y Palencia, Manuel S. 2016. Estudio electroquímico de un biopolímero compuesto PPy/almidón de cassava. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 36(1):26-35.
6. Aydogdu, CJ Radke, S. Bezci, E. Kirtil, Caracterización de películas de emulsión antimicrobiana de aceite de naranja/goma de guar incorporada con curcumina, *Int. J. Biol. macromol.* 148 (2020) 110–120.
7. Bertuzzi MA, Castro-Vidaurre EF, Armada M, Gottifredi JC. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering* 80:972- 978.
8. Campos, R. P., Kwiatkowski, A., & Clemente, E. (2011). Post-harvest conservation of organic strawberries coated with cassava starch and chitosan. *Revista Ceres*, 58(5), 554-560.
9. Cano-Botero, J. L., Ospina-Balvuela, Y., Gutiérrez-Cifuentes, J. A., & Ríos-Vásquez, E. (2023b). Hidrodestilación asistida por microondas de aceite esencial de cúrcuma longa (rizomas): optimización mediante superficie de respuesta. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 13(1). <https://doi.org/10.19053/20278306.v13.n1.2023.16061>.

10. Carmen, H. J. (2020, 16 octubre). Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109321>.
11. Coy, C., & Acosta, E. (2013). Actividad antibacteriana y determinación de la composición química de los aceites esenciales de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) Y cúrcuma (*Cúrcuma longa*).
12. C. R. M. Elena, (2014). Fabricación de películas biodegradables para productos cárnicos, a partir de biopolímeros con mezclas de aceites esenciales antimicrobianos. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3603>.
13. Durrani, C. M., & Donald, A. M. (1995). Physical characterisation of amylopectin gels. *Polymer gels and networks*, 3(1), 1-27.
14. Editorial Grudemi (2022). Almidón - ¿Qué es?, función, características y alimentos. Enciclopedia de Biología. [Consulta: 2024, febrero 16] <https://enciclopediadebiologia.com/almidon/>
15. Elena, M. R. M. (2015). Evaluación de la eficacia del aceite esencial de curcuma longa L. como conservante en una formulación cosmética orgánica. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8006>.
16. Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R. & Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay*, 4, 33-36.
17. Fiore, A. y otros, 2021. Active packaging based on PLA and chitosan-caseinate enriched rosemary essential oil coating for fresh minced chicken breast application. *Food Packaging and Self Life*, Issue 29, p. 100708.
18. Flores, R. A., 2010. CALIDAD DE LOS FRUTOS DE NARANJA. Redalyc.org. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315809006>.
19. Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. 1993. Water and Glycerol as Plasticizer Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Journal of Food Science* 58:206-211.
20. Iamareerat, B., Singh, M., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2018). Reinforced Cassava Starch based edible film incorporated with essential oil and sodium bentonite nanoclay

- as food packaging material. *Journal of Food Science and Technology*, 55(5), 1953-1959. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3100-7>.
21. Li, M., Pérez-Calleja, P., Kim, B., Picioreanu, C., & Nerenberg, R. (2023). Unique stratification of biofilm density in heterotrophic membrane-aerated biofilms: An experimental and modeling study. *Chemosphere*, 327, 138501. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138501>.
 22. Liu, Z. (2005). Edible films and coatings from starches. In: *Innovations in Food Packaging*.
 23. López, Á., Rivas, J., Loaiza, M. & Sabino, M. (2010). Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (*L. vannamei*). *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(2), 133-143. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000200014.
 24. López-Carballo, G., Higuera, L., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R., & Rollini, M. (2013). Development of a novel antimicrobial film based on chitosan with LAE (ethyl-N α -dodecanoyl-Larginate) and its application to fresh chicken. *International journal of food microbiology*, 165(3), 339-345.
 25. López Luengo, M. T. (2004). Los aceites esenciales. *OFFARM*, 23(7).
 26. Lorenzo, B. M. H. (2021, 16 septiembre). Obtención de una biopelícula a partir de almidón de la cáscara de cacao " (Teobroma cacao. L.) en la producción de plástico biodegradable. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16752>.
 27. M, Jiménez–Munguía, Domínguez-Courtney M. 2012. Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6:110-121.
 28. Madera, S. Jiao T., De Dios, A. M. A., Colín, C. C., Mariscal, A. L. A., Nuñez, C. C. A., Veloz, G. R., Gizmán, M. S. H., Peña, C. V., Grijalva, V. C. P., & Rodríguez, N. J. R. (2019). Coating based on chitosan and aqueous extract of *Moringa oleifera* leaf obtained by UMAE and its effect on the physicochemical properties of strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21(2), 155-163.
 29. Maran, JP, Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Sridhar, R., 2014. Degradación Comportamiento de biocompuestos a base de almidón de yuca enterrados

- en condiciones de suelo interior. *Carbohidrato. Polímero.* 101, 20-28.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.080>.
30. Martínez, L. (2023, 18 febrero). Los increíbles beneficios de la hoja de yuca para la salud. *Publimetro Argentina*. [Consulta: 2024, febrero 16]
<https://www.publimetro.com.ar/estilo-vida/2023/02/18/los-increibles-beneficios-de-la-hoja-de-yuca-para-la-salud/>
 31. Martucci, JF, Ruseckaite, RA, 2009. Propiedades de tracción, propiedades de barrera y biodegradación en suelo de compresión - películas moldeadas de gelatina-dialdehído-aldehído. *J. Aplica. Polímero. Ciencia.* 112, 2166–2178.
<http://dx.doi.org/10.1002/app.29695>.
 32. Mbey JA, Hoppe S, Thomas F (2012) Almidón de yuca–caolinita película compuesta. Efecto del contenido de arcilla y la modificación de arcilla en las propiedades de la película. *Carbohydr Polym* 88: 213–222.
 33. Mesa, Ramirez-Totosa, Aguilera, Ramirez-Boscá, & Gil. (2000). Efectos farmacológicos y nutricionales de los extractos de *Curcuma longa* L. y de los cuminoides. *Ars Pharmaceutica*, 307-321.
 34. Mina Yanqui (2019). Diseño conceptual de un proceso de producción de almidón de yuca amazónica (Manihot Esculenta).
<https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/721>.
 35. Ojagh, S. M., Rezei, M., Razavi, S. H. & Hosseini, S. M. H., 2010. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, Issue 122, pp. 161-166.
 36. Oliveira, L. Obtençao e Caracterizaçao de Filmes Biodegradáveis a partir de Misturas de Amido de Mandioca e Extrato Protéico de Soja. *Mestre em Ciências. Programa de Pós Graduaçao em Ciencia e Tecnología de Alimentos, área de Concentraçao em Tecnología de Alimentos. Seropédica, Rio de Janeiro; 2009*. [Actualizado 23 mar 2009: citado 24 abr 2012]. Disponible en: <http://www.livrosgratis.com.br/arguivoslhTOs/cp087624.pdf>.
 37. Pagno, CH, de Farias, YB, Costa, TMH, Rios, A., de, O., Flores, SH, 2016. Síntesis de películas biodegradables con propiedades antioxidantes a base de almidón de yuca que contienen nanocápsulas de bixina. *J. Ciencia de los alimentos. Tecnología.* 53, 3197–3205.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-016-2294-9>.

38. Palma-Rodríguez, H. M., Salgado-Delgado, R., Páramo-Calderón, D. E., Vargas-Torres, A., & Meza-Nieto, M. A. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria*, 27(1), 26-33. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1215>.
39. Parra DF, Tadini CC, Ponce P, Lugão AB. 2004. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers* 58:475-481.
40. Patricia, M. C. I. (2018, 1 enero). Evaluación del efecto antimicrobiano de los aceites esenciales de jengibre (*Zingiber officinale*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) frente a la bacteria *Staphylococcus aureus* ATCC: 12600. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15045>.
41. Pérez-Gago, M. B., Nadaud, P. and Krochta, J. M. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. *Journal of FoodScience*. 64(8): 1034-1037.
42. Porat y Coh., 2000. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products: A review. *Food Research International* 33(2):719-724.
43. Porta R, Di Pierro P, Sabbah M, RegaladoGonzález C, Mariniello L, Kadivar M & Arabestani A (2016). Blend films of pectin and bitter vetch (*Vicia ervilia*) proteins: Properties and effect of transglutaminase. *Innov. Food Sci. Emerg.* 36:245-251.
44. R. Syafiq, SM Sapuan, MRM Zuhri, Actividad antimicrobiana, propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas biocompuestas de nanocelulosa/almidón a base de palma de azúcar incorporadas con aceite esencial de canela, *J. Mater. Res. Tecnología* 11 (2021) 144– 157.
45. Rambir, S., Rames, C., Mridula, B., & Pratibha, M. (2002). Antibacterial activity of *Curcuma longa* rhizome extract on. *Current science*, 737-740.
46. Ruiz-Navajas, Y. y otros, 2015. Effect of chitosan edible films added with *Thymus moroderi* and *Thymus piperella* essential oil on shelf-life of cooked cured ham. *Journal of Food Science & Technology*, pp. 6493-6501.

47. Russián, T. (2009). Calidad del fruto de veinticuatro accesiones de Naranja «Criolla» en Macanillas-Curimagua, estado Falcón, Venezuela. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3293567>.
48. S. Valizadeh, M. Naseri, S. Babaei, SMH Hosseini, A. Imani, Desarrollo de películas compuestas bioactivas a partir de quitosano y carboximetilcelulosa usando glutaraldehído, aceite esencial de canela y ácido oleico, *Int. J. Biol. macromol.* 134 (2019) 604–612.
49. Sáez-Orviz, S. y otros, 2020. PLA nanoparticles loaded with thymol to improve its incorporation into gelatine films. *Journal of Food Engineering*, Issue 269, p. 109751.
50. Salgado, P. R., Ortiz, S. E. M., Petruccelli, S., & Mauri, A. N. (2010). Biodegradable sunflower protein films naturally activated with antioxidant compounds. *Food Hydrocolloids*, 24(5), 525-533. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.12.002>.
51. Sánchez-González L, Vargas M, Cháfer M, González-Martínez CH, Chiralt A. 2011a. Uso de Aceites esenciales en recubrimientos comestibles bioactivos: una revisión. *Food Eng Rev* 3(1):1–16.
52. Seligra, PG, Medina Jaramillo, C., Famá, L., Goyanes, S., 2016. Biodegradables y no Ecopelículas retrogradables a base de almidón-glicerol con ácido cítrico como agente reticulante. *Carbohidrato. Polímero.* 138, 66–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.041>.
53. Shagufta, Safia, Saiqa, Farkhanda, Farah, & Aamr. (2010). Antibacterial activity of curcuma longa varieties against different strains of bacteria. *Pak. J. Bot.* 455-462.
54. Shaik, M. I., Hamdi, Í., & Sarbon, N. M. (2023). A comprehensive review on traditional herbal drinks: Physicochemical, phytochemicals and pharmacology properties. *Food Chemistry Advances*, 3, 100460. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100460>.
55. Singh R, & Jain D. (2011). Evaluation of Antimicrobial activity of Volatile Oil and total. *International Journal of ChemTech Research*, 1172-1178.
56. T. Nisar, ZC Wang, X. Yang, Y. Tian, M. Iqbal, Y. Guo, Caracterización de películas de pectina de cítricos integradas con aceite esencial de yema de clavo: Propiedades físicas, térmicas, de barrera, antioxidantes y antibacterianas, *Int. J. Biol. macromol.* 106 (2018) 670–680.

57. UNEP Food Waste Index Report. (2021). UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>.
58. Velasco, J. A. C., Mahecha, P. V., & Andrade-Mahecha, M. M. (2017). Aceite esencial de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) como agente antifúngico en recubrimientos comestibles aplicados a zapallo (*Cucurbita maxima*) mínimamente procesado. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(3), 641-654. <https://doi.org/10.19084/rca16130>.
59. Xochitlanezi, E. G. (2020). Elaboración y evaluación de una biopelícula comestible con el uso de grenetina, miel y cera de abeja, para la conservación de tres variedades de *vitis vinifera* (UVA). <http://hdl.handle.net/11191/7770>.
60. Zhang, B. y otros, 2021. Effect of sodium alginate-agar coating containing ginger essential oil on the shelf life and quality of beef. *Food Control*, Issue 130, p. 10816.
61. Zhang, Y., Pan, C., Zheng, Z., Luo, W., Liang, X., Shi, Y., Liang, L., Zheng, X., Zhang, L., & Du, Z. (2020). Antiaging effect of *Curcuma longa* L. essential oil on ultraviolet-irradiated skin. *Microchemical Journal*, 154, 104608. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.10460>.
62. Zhou, H., Beevers, C. S., & Huang, S. The targets of curcumin. *Current Drug Targets*, 12(3), 332– 347. (2011).
63. Zhou, Y., Wu, X., Chen, J., & He, J. (2021b). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067>.
64. Zlotnikov I, Zolotoyabko E & Fratzl P (2017) Nano-scale modulus mapping of biological composite materials: Theory and practice. *Prog. Mater. Sci.*, 87:292- 320.

ANEXOS

Anexo 1: Figuras del proceso de obtención del almidón de *Manihot esculenta*.



Figura 8: Acondicionamiento de la yuca. Figura 9: Filtrado del almidón de *Manihot esculenta*.



Figura 10: Decantación del almidón.



Figura 11: Secado del almidón.



Figura 12: Almidón después del secado.

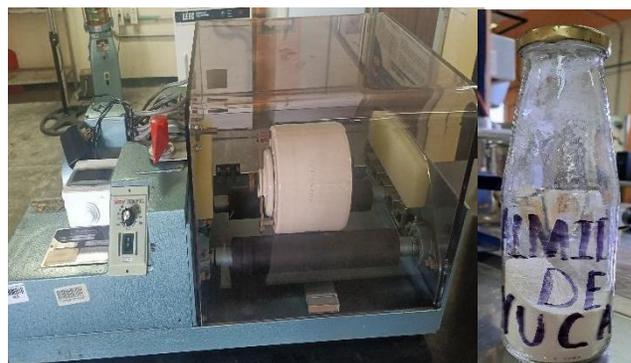


Figura 13: Pulverizado y el almacenado.

Anexo 2: Figuras del proceso de extracción de AE de *C. longa* L.



Figura 14: Materia prima



Figura 15: Acondicionamiento de la cúrcuma.



Figura 16: Secado por microondas.



Figura 17: Extracción del AE.



Figura 18: AE de *C. longa* L.

Anexo 3: Figuras de la formulación de las biopelículas de almidón de *Manihot esculenta* y AE de *C. longa* L.



Figura 19: Se pesó el almidón.



Figura 20: 50 ml de agua.



Figura 21: Adición del glicerol.



Figura 22: Incorporación del AE.



Figura 23: Homogenización en el calentador.



Figura 24: Vertido de la mezcla en el molde, para el secado.



Figura 25: Biopelícula.