

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



Facultad de Ingeniería Química

Licenciatura en Ingeniería en Alimentos

Desarrollo, caracterización y aplicación de una película comestible funcional bicapa a base de mango y probióticos

Agosto 2024

TESIS

Presentada para obtener el grado de:

Licenciatura en Ingeniería en Alimentos

Presenta:

p.Ing. Bricia Alejandra Mendoza Gutiérrez

Director de tesis:

Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco

Asesor de tesis:

Dr. Irving Israel Ruiz López

La presente tesis se la dedico a Dios por la inmensa oportunidad de vivir y poder cumplir una de las metas más importantes para mí. "Encomienda a Dios tu camino, confía en él y él hará" (Salmo 37: 5-6). A mis padres, abuelos y tíos les agradezco enormemente por todo su esfuerzo a lo largo de toda mi educación. Han sido los pilares más importantes en mi vida y mi mayor ejemplo de esfuerzo y dedicación.

Con cariño a mi mamá Ivette Gutiérrez Salazar, gracias por no dejarme sola y estar siempre pendiente de mí y ser mi mayor ejemplo a seguir. Siempre estaré sumamente agradecida por todos los esfuerzos y sacrificios que has hecho por mí. Te amo demasiado.

En especial a mi abuela Ani, por ser una segunda madre y cuidarme como a una hija desde el primer día en que me conoció. Gracias por siempre confiar en mí, animarme y ser más que mi abuela, mi amiga y alguien en quien puedo confiar.

Agradezco a toda mi familia, que a pesar de la distancia siempre está cerca, en mi corazón. Gracias por acompañarme en mis logros y también en mis fracasos, por enseñarme a no rendirme y ser persistente. Agradezco su apoyo incondicional, amor y confianza.

Agradecimientos

Agradezco a todos aquellos quienes, de una u otra manera, me ayudaron a alcanzar esta meta.

Al departamento de Bioquímica – Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por recibirme, abrirme sus puertas y permitirme utilizar sus instalaciones durante mi estancia y desarrollo de la presente tesis.

De manera muy especial, le agradezco al Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco por ser mi asesor de tesis, y permitirme trabajar con él. Gracias por compartir su conocimiento y consejos, por estar siempre al pendiente de mí cuando las jornadas en el laboratorio eran largas, y sobre todo, por recibirme en Ciencias Químicas, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible el desarrollo de la presente tesis.

También de manera muy especial, le agradezco a la Dra. Paola Hernández Carranza su apoyo en el laboratorio en todo momento, por todas sus explicaciones y enseñanzas. Gracias por estar siempre al pendiente tanto de mi trabajo como de mi persona. Agradezco su calidad humana, paciencia y tiempo, así como también los regaños que me hicieron mejorar. Gracias por brindarme la confianza y recibirme en Ciencias Químicas.

Agradezco al honorable jurado de la presente tesis: Dr. Héctor Ruiz Espinosa, Mtra. Montserrat González Limón y Dra. Paola Hernández Carranza, gracias por formar parte de este trabajo, por el tiempo y dedicación para la revisión de este, gracias por todas sus observaciones y comentarios.

A mis amigos del laboratorio que sin buscarlo se convirtieron en personas muy amadas e importantes para mí, a Sandy, Xia, Lupita y Rangel, gracias por brindarme

sus conocimientos, consejos, y su apoyo incondicional. Gracias por hacer del laboratorio una etapa muy bonita e inolvidable para mí, los quiero mucho.

A mis amigas Yez y Guzzi, gracias por estar al pendiente de mí, por darme ánimos y por su apoyo incondicional en todos los sentidos, las quiero mucho.

Finalmente, quiero agradecer a la persona que más estuvo apoyándome durante todo el tiempo de escritura, a mi novio Isaac, que sin buscarlo llegó a cambiar mi vida para bien. Gracias por ser quien día a día me impulsó a concluir este trabajo, por compartirme tus conocimientos, por desvelarte conmigo y resolver mis dudas existenciales. Gracias por no dejarme sola, confiar en mí y hacer que yo también lo haga, por todo el tiempo y paciencia ya que sin ti no lo hubiera podido lograr. Te amo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
ANTECEDENTES.....	12
2.1 Mango (Mangifera indica L.).....	12
2.1.1 Origen	12
2.1.2 Taxonomía.....	13
2.1.3 Morfología del mango.....	13
2.1.4 Pulpa del mango.....	14
2.1.5 Composición nutricional	15
2.1.6 Antioxidantes	17
2.1.7 Compuestos fenólicos	18
2.1.8 Flavonoides	18
2.2 Películas comestibles	19
2.2.1 Definición	19
2.2.2 Características de las películas comestibles.....	20
2.2.3 Componentes para su elaboración.....	20
2.2.3.1 Hidrocoloides.....	21
2.2.3.2 Almidón de papa	24
2.2.3.4 Plastificantes	26
2.3 Métodos de elaboración de películas comestibles	27
2.3.1 Películas bicapa	28

2.3.2 Películas bioactivas.....	29
2.3.3 Aplicaciones en alimentos.....	30
2.4 Proteínas utilizadas en la elaboración de películas comestibles	30
2.4.1 Proteínas de origen vegetal	32
2.4.2 Suero de leche.....	33
2.4.2.1 Composición nutricional del suero de leche	36
2.5 Probióticos.....	37
2.5.1 Bacterias ácido – lácticas (BAL)	38
2.5.2 Género <i>Lactobacillus</i> spp.....	39
2.5.3 <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	40
JUSTIFICACIÓN.....	42
OBJETIVOS	43
4.1 Objetivo general.....	43
4.2 Objetivos particulares	43
DIAGRAMA DE TRABAJO.....	44
MATERIALES Y MÉTODOS	45
METODOLOGÍA	48
7.1 Adquisición de mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.) y almidón de papa en polvo	48
7.2 Caracterización bromatológica y de compuestos bioactivos en mango y almidón de papa en polvo.....	48
7.3 Elaboración de películas comestibles bicapa	49
7.4 Evaluación de películas comestibles bicapa durante el almacenamiento	50
7.5 Análisis de humedad.....	50
7.6 Análisis de espesor.....	50

7.7	Análisis de permeabilidad al vapor de agua	51
7.8	Análisis de propiedades mecánicas	51
7.9	Análisis de color	51
7.10	Análisis de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante	52
7.11	Recuento de probióticos	52
7.12	Aplicación y aceptación sensorial	52
7.13	Análisis estadístico	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		54
8.1	Evaluación de la caracterización bromatológica y de compuestos bioactivos del mango (<i>Mangifera indica</i> L.) y almidón de papa en polvo.....	54
8.2	Elaboración de películas comestibles bicapa	55
8.3	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles bicapa formuladas	56
8.4	Evaluación de color de películas comestibles bicapa	61
8.5	Evaluación de compuestos bioactivos de películas comestibles bicapa	62
8.6	Evaluación de bacterias ácido-lácticas de películas comestibles bicapa	64
8.7	Evaluación de la aceptación sensorial de películas comestibles bicapa	66
CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES		69
REFERENCIAS		70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de materiales empleados en películas comestibles (Información tomada y adaptada de Trinetta., 2016)	21
Figura 2. Estructura química de (a) amilosa y (b) amilopectina.....	26
Figura 3. Fórmula estructural del propanotriol.....	27
Figura 4. Esquema de trabajo para la elaboración de películas comestibles funcionales bicapa aplicadas a sushi.....	44
Figura 5. Películas comestibles bicapa elaboradas con almidón de papa, suero fermentado con <i>Lactobacillus rhamnosus</i> y mango (1 y 5). Película con almidón de papa, suero de leche y mango (2 y 6). Película con almidón de papa y suero fermentado con <i>Lactobacillus rhamnosus</i> (3 y 7). Película con almidón de papa, <i>Lactobacillus rhamnosus</i> , y mango (4 y 8).	56
Figura 6. Evaluación de la capacidad antioxidante en películas comestibles bicapa.	62
Figura 7. Evaluación de los compuestos fenólicos totales en películas comestibles bicapa.....	63
Figura 8. Cuenta de microorganismos probióticos durante el almacenamiento de las películas comestibles bicapa.....	65
Evaluación de los compuestos fenólicos totales en películas comestibles bicapa.	65
Figura 9. Aplicación de la película comestible bicapa en sushi.	66
Figura 10. Evaluación sensorial de la película comestible bicapa aplicada en sushi.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutrimental promedio del mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	15
Tabla 2. Variación de características fisicoquímicas desde el punto de madurez fisiológica hasta alcanzar la madurez comercial.	16
Tabla 3. Clasificación de los hidrocoloides	23
Tabla 4. Propiedades que obtienen las películas de distintas fuentes de proteína	33
Tabla 5. Composición del lactosuero dulce y ácido	35
Tabla 6. Composición nutricional del suero de leche	36
Tabla 7. <i>Lactobacillus</i> identificados, aislados y utilizados como probióticos.	40
Tabla 8. Métodos y referencias utilizados en la investigación	45
Tabla 9. Equipos utilizados en la investigación	47
Tabla 10. Formulación de sistemas para la conformación de la película comestible 2.....	50
Tabla 11. Humedad, cenizas, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) deshidratado.	55
Tabla 12. Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles bicapa formuladas al inicio y después de 28 días de almacenamiento.....	59
Tabla 13. Parámetros de color en películas comestibles bicapa formuladas al inicio y después de 28 días de almacenamiento	61

RESUMEN

Las películas comestibles se han desarrollado con el fin de extender la vida útil de los alimentos o enriquecerlos. Se utilizan como portadoras de agentes antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes como vitaminas y minerales, así como también son una alternativa eficiente ante el uso de empaques sintéticos. En este trabajo se elaboraron películas comestibles bicapa, todas conformadas por una primera capa a base de almidón de papa, agua destilada y glicerol, posteriormente la segunda capa conformada por los diferentes sistemas: película con suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus*, mango en polvo, glicerol y agua destilada, película con suero sin fermentar, mango en polvo, glicerol y agua destilada, película con suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus*, glicerol y agua destilada, película con *Lactobacillus rhamnosus*, mango en polvo, glicerol y agua destilada (las películas fueron almacenadas a 4 y 20°C). Las películas fueron analizadas en humedad, espesor, permeabilidad al vapor de agua, propiedades mecánicas como alargamiento a la rotura y resistencia a la tracción, color, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante, así como viabilidad de las bacterias ácido-lácticas (BAL) durante el almacenamiento. Las películas comestibles bicapa se aplicaron a sushi y se realizó un análisis sensorial. Los resultados mostraron que las películas elaboradas con almidón de papa y suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* presentaron una coloración blanquecina, a diferencia de las demás películas debido a la ausencia de los carotenoides contenidos en el mango. Por otro lado, la población de *Lactobacillus rhamnosus* en las películas comestibles mostró un recuento microbiano mayor a 6 ciclos logarítmicos (CL) lo que proporciona un efecto benéfico en la salud de quien las consume. Por otra parte, la aplicación de las películas comestibles bicapa en sushi mostró una buena aceptación por parte de los consumidores. Finalmente, la evaluación sensorial de las mismas mostró una respuesta entre me gusta y me gusta mucho, lo que se debió al sabor agradable y ácido presente en las películas elaboradas.

INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años la alimentación fue evolucionando y con ello se amplió la variedad de los alimentos. Se comenzó a hablar de alimentos funcionales en Japón en los años 80's y 90's, estableciendo por primera vez el concepto nutricional de alimento para uso específico en la salud, pues los alimentos funcionales se englobaron bajo el nombre de FOSHU (Foods for Specified Health Use).

Definidos como alimentos que tienen o se les ha añadido un compuesto químico que es necesario para que se realicen todas las funciones vitales, esta propiedad puede estar dirigida para mejorar el estado de salud de una persona, por lo que contienen un valor nutricional añadido que resulta beneficioso para la salud de quien los consuma. Las principales características de este tipo de alimentos son:

1. Deberán presentarse en forma de alimentos de consumo cotidiano
2. Deberán contar con propiedades nutritivas
3. Prevendrá el riesgo de contraer enfermedades
4. Aportará un extra en la dieta diaria
5. Deberá poder demostrarse sus efectos beneficiosos dentro de las cantidades que normalmente se consumen en la dieta

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) brindan beneficios para la salud del consumidor, lo cual es clave para mantener un sistema gastrointestinal sano. Las BAL generalmente se encuentran distribuidas en la naturaleza y han sido aisladas de diversas plantas, alimentos, así como también del tracto gastrointestinal, entre otras fuentes, siendo la leche un medio óptimo y común para su crecimiento y producción de metabolitos. Por tal motivo en esta investigación se desarrollará una película comestible funcional a base de almidón, mango, suero de leche y probióticos.

Los empaques son de gran importancia, ya que actúan como la principal barrera entre el medio ambiente y el producto. Previenen el deterioro y la contaminación de los alimentos provocados por microorganismos, malas prácticas de manipulación,

factores fisicoquímicos y cambios inherentes al producto. Además, ayudan a preservar la textura y forma del alimento, lo que provoca un menor rechazo por parte del consumidor. Los empaques bioactivos son una innovación importante en este sentido. Estos son capaces de ser acarreadores de sustancias bioactivas (vitaminas, antioxidantes, antimicrobianos, probióticos, prebióticos, etc.) que proporcionan un beneficio a la salud de los consumidores, por lo que el desarrollo de empaques bioactivos ha sido de gran interés en la industria de alimentos.

ANTECEDENTES

2.1 Mango (*Mangifera indica* L.)

2.1.1 Origen

La palabra “*Mangifera*” proviene del latín del nombre malayo del fruto; el sufijo “*fer*” que significa producir y se refiere a la producción de sus frutos, “*indica* L”, del latín *indicus-a-um*, es decir que procede de la india (Morales y Varón., 2013). Por su nombre común mango manila es la segunda fruta tropical después del plátano, más comercializada en el mundo y México es el principal exportador a nivel mundial (SIAP- SAGARPA 2020).

Esta fruta fue traída a la Nueva España desde la Ciudad de Manila, capital de Filipinas por los navegantes españoles durante el siglo XVI; años después comenzaría a cultivarse en México dando origen al mango manila mexicano como lo conocemos actualmente, esta variedad se reconoce como uno de los frutos tropicales más finos del mundo y su cultivo data de hace más de 6,000 años, la preferencia en su consumo se debe a sus atributos sensoriales como olor, sabor y a sus propiedades nutricionales (Barbosa *et al.*, 2009).

Se le conoce por su sabor dulce y aroma fragante, se destaca por la mezcla de dulzura y acidez, que lo hace versátil en la cocina y se utiliza en una amplia variedad de platillos pudiéndose consumir fresco, en postres, batidos o en forma deshidratada (Barbosa *et al.*, 2009).

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece al género *mangifera* el cual tiene alrededor de 30 especies de árboles frutales tropicales, pertenece a la familia de plantas con flores *Anacardiaceae* la cual posee 73 géneros y alrededor de 850 especies (Khan *et al.*, 1989).

El género *Mangifera* se divide en dos subgéneros: *Limus* y *Mangifera*. *Limus* agrupa 11 especies y *Mangifera* contiene el mayor número de especies que son 47 y se

dividen en 4 secciones: *Marchandora*, *Euantherae*, *Rawa* y *Mangifera*, la sección *Mangifera* es la de mayor número de especies y dentro de ella se encuentra el mango común y el *M. laurina* (Arcila *et al.*, 2022).

2.1.2 Taxonomía

Las características taxonómicas son: Reino: *Plantae*; Clase: *Dicotyledonea*; Subclase: *Rosidae*; Orden: *Sapindales*; Suborden: *Anacardiineae*; Filo: *Mangoliophyta*; Familia: *Anacardiaceae*; Género: *Mangifera*; Especie: *Indica* (Arcila *et al.*, 2022).

El árbol de mango variedad manila se caracteriza por ser grande y vigoroso, con canopia abierta; fruto amarillo brillante, algunas veces con ligeras manchas rosas, o con manchas rojizas muy pequeñas; es largo y plano, con la base redondeada, y un ápice redondo algunas veces con un pequeño pico, con 14 a 15 cm de longitud (Arcila *et al.*, 2022).

El fruto varía con 5.5 a 6 cm de ancho y 5 a 5.5 cm de grueso, peso entre 180 a 260 g; pericarpio delgado y ligeramente duro fácilmente desprendible; pulpa jugosa, de firmeza media; con poca o abundante fibra, de color amarillo profundo cuando está maduro, y semilla poliembriónica, medio gruesa y leñosa (Knight *et al.*, 2009).

2.1.3 Morfología del mango

Este fruto consta de una cascara o piel llamada pericarpio que protege a la fruta del exterior, una parte comestible llamada mesocarpio, que corresponde a la pulpa y tiene como función proteger al endocarpio que contiene la semilla. Al inicio del desarrollo del fruto, el pericarpio es de color verde oscuro que cambia a tonos verde claro, amarillos o naranjas al madurar el fruto (Bally., 2006).

2.1.4 Pulpa del mango

Las pulpas de la fruta se caracterizan por tener una gama de compuestos nutricionales que pueden ser aprovechados para la elaboración de diversos productos, desde el punto de vista nutricional la pulpa de mango contiene ácidos fenólicos y flavonoides, que se absorbe fácilmente en el intestino delgado y actuarán como antioxidantes potenciales en el organismo, la mangiferina ejercerá un control de la glucemia especialmente en personas diabéticas (Soria *et al.*, 2019).

El consumo de pulpa de mango en personas con sobrepeso reduce el estrés oxidativo y los niveles de triglicéridos en suero, además de que es una excelente fuente de micronutrientes como vitamina C de alta capacidad antioxidante que ayuda a la absorción del hierro, vitamina A, esencial para el mantenimiento de tejidos epiteliales, piel y mucosas, vitamina E, y potasio, que aumenta la inmunidad, previene el cáncer de colon y combate la degeneración macular asociada con la edad (Robles *et al.*, 2011).

La característica más importante de la pulpa de mango es la sensorial, y se refiere a las propiedades detectables por los órganos de los sentidos, es decir color, sabor, aroma, apariencia y consistencia, siendo muy importante conseguir frutas con un alto rendimiento de pulpa que debe estar libre de materias extrañas, partículas gruesas y oscuras propias de la fruta (Silva *et al.*, 2021).

2.1.5 Composición nutricional

En promedio cada 100 g de pulpa aportan un 47% del requerimiento diario de vitamina C para un adulto, 25 % de vitamina A, y 13% de vitamina E. Existe una variación en la composición nutrimental y las características fisicoquímicas del mango, en función a las condiciones del estado de madurez, almacenamiento y lugar de cultivo. La composición nutrimental promedio del mango se muestra en la Tabla 1, de acuerdo con (Tharanathan *et al.*, 2006).

En la madurez de la fruta los carbohidratos son azúcares solubles, aproximadamente con 8 %, siendo la mayor parte sacarosa aproximadamente en un 5 %, fructuosa entre 1.5 a 2 % y glucosa 0.5 %. Un mango maduro contiene un bajo contenido de almidón 0.3 % (Cruz *et al.*, 2012).

Las características fisicoquímicas de la pulpa de mango reportan variación a lo largo del proceso de maduración, como lo reportó Quintero *et al.* (2013) donde explica la evolución del porcentaje de acidez, Aw, pH, °Bx y firmeza de la pulpa, en mangos en estado de madurez fisiológica al día 0 y durante 9 días.

Tabla 1. Composición nutrimental promedio del mango (*Mangifera indica* L.)

Composición nutrimental promedio del mango	
Valores por cada 100 g de pulpa de mango maduro	
Calorías (Kcal)	62.1 - 63.7
Humedad (g)	78.9 - 82.8
Proteína (g)	0.36 - 0.40
Grasa (g)	0.30 - 0.53
Carbohidratos (g)	16.20 - 17.18
Fibra (g)	0.85 - 1.06
Cenizas (g)	0.34 - 0.52
Calcio (mg)	6.1 - 12.8

Fosforo (mg)	5.5 - 17.9
Hierro (mg)	0.20 - 0.53
Vitamina A (caroteno) (mg)	0.135 - 1.872
Tiamina (mg)	0.020 - 0.073
Riboflavina (mg)	0.25 - 0.068
Niacina (mg)	0.25 - 0.707
Ácido ascórbico (mg)	7.8 - 172.0
Triptófano (mg)	3 - 6
Metionina (mg)	4 - 6
Lisina (mg)	32 - 37

Información tomada de Tharanathan *et al.* (2006)

La Tabla 2 muestra la variación de estas características fisicoquímicas desde el punto de madurez fisiológica hasta alcanzar la madurez comercial, es decir cuando alcanzan su máximo aroma y dulzor, teniendo una consistencia firme, pero suficientemente blanda para consumirse.

Tabla 2. Variación de características fisicoquímicas desde el punto de madurez fisiológica hasta alcanzar la madurez comercial.

Parámetro	Madurez fisiológica	10 días después
Sólidos solubles (°Bx)	10.5	20
Actividad de agua (Aw)	0.992	0.983
pH	3.3	5.3
% de acidez (% de ácido cítrico)	1.5	0.35
Firmeza de la cáscara Kg/cm²	5.4	2.3
Firmeza de la pulpa Kg/cm²	1.85	0.4

Información tomada de Quintero *et al.* (2013)

Además de las propiedades nutricionales y fisicoquímicas, la pulpa de mango tiene propiedades tecnológicas por las que puede desempeñarse como materia prima principal o como ingrediente. Su contenido de almidón, fibra y pectina aportan textura, a los productos preparados con mango, el contenido antioxidante y ácidos contribuyen contra el crecimiento de microorganismos, así como los pigmentos que aportan color.

Los ácidos y azúcares aportan sabor, y los compuestos volátiles aportan el aroma característico del mango, atributos que contribuyen a la preferencia del consumidor hacia los productos a base de mango. Esta fruta es útil en todas sus etapas, desde la madurez fisiológica (mango verde) hasta la madurez comercial, así como la cáscara que es rica en moléculas bioactivas y pectinas (CONASPROMANGO., 2012).

Se pueden obtener diversas aplicaciones, por ejemplo, el mango verde se utiliza para salsa de mango dulce o salada, bebidas y encurtidos; con el fruto maduro se producen rebanadas para conserva, mermeladas y néctar. Con la pulpa deshidratada por diferentes métodos se puede obtener partículas finas que conservan su olor, color y sabor natural, con una aplicación exitosa en su formulación, esto dependiendo de la adecuada selección de la variedad y de su caracterización fisicoquímica y sensorial, debido a que esto es muy importante para la obtención y aplicación en diferentes productos (Serna *et al.*, 2015).

2.1.6 Antioxidantes

Los antioxidantes son moléculas capaces de retardar o prevenir la reacción de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante, la cual se conoce como oxidación. Estas reacciones pueden producir radicales libres para comenzar a dañar la molécula en forma de cadena. La función de los antioxidantes es terminar estas reacciones mediante la eliminación de intermedios del radical libre, inhibiendo otras reacciones de oxidación oxidándose ellos mismos. Estos se encargarán de proteger a la célula del daño causado por moléculas inestables, las cuales son

conocidas como radicales libres. Los átomos con un electrón cedible en su órbita externa son denominados radicales libres, estos recorrerán el organismo intentando captar un electrón de las moléculas estables, para poder lograr su estabilidad electroquímica y generar reacciones en cadenas destructoras de nuestras células (Llacuna y Mach., 2012).

2.1.7 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se caracterizan por ser metabolitos secundarios compuestos por anillos de fenoles unidos a uno o más grupos hidroxilo. Estas biomoléculas se distribuyen en todas las partes de las plantas y su concentración varía en el ciclo vegetativo. Desempeñan múltiples funciones, como la asimilación de nutrientes, la síntesis proteica, actividad enzimática, fotosíntesis, formación de compuestos y defensa contra factores bióticos y abióticos. Entre los compuestos fenólicos más destacados se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, así como otros menos comunes como estilbenos y lignanos (Pérez *et al.*, 2016).

La evolución de los compuestos fenólicos durante la etapa de postcosecha o maduración de los frutos ha sido objeto de interés para los investigadores, ya que pueden estar involucrados en los mecanismos de defensa de los frutos contra la infección de ciertos hongos (Pérez *et al.*, 2016).

2.1.8 Flavonoides

Entre los compuestos fenólicos más importantes se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y otros compuestos no tan comunes como estilbenos y lignanos (Kim *et al.*, 2011).

Son sustancias de bajo peso molecular que se producen por casi todas las plantas vasculares, a su vez los seres humanos consumen flavonoides en la dieta pues están presentes en los vegetales, las frutas rojas como las moras, fresas, y zarzamoras, frutas cítricas, nueces, vino tinto, te negro y té verde, así como en otros alimentos (Tomás *et al.*, 1990).

La mayor parte de flavonoides están presentes en las plantas y alimentos en forma de β -glicósidos, y una vez que son ingeridos antes de entrar a la circulación sufren hidrólisis debido a que la unión β de estos azúcares resiste a la hidrólisis de las enzimas pancreáticas (Németh *et al.*, 2003). Li *et al.* (2014) y Corrales *et al.* (2014) reportaron que el mango contiene ácido ascórbico, α -tocoferol, carotenoides, flavonoides, polifenoles y una gran capacidad antioxidante, los cuales varían con el estado de madurez y las condiciones climáticas.

2.2 Películas comestibles

2.2.1 Definición

Las películas comestibles se definen como una capa delgada de un polímero que se emplean sobre la superficie de un alimento y pueden consumirse. Además, pueden aplicarse como capas continuas entre los diferentes componentes o utilizarse como cubierta durante su elaboración (Kowalczyk y Baraniak., 2011).

Sharma y Rao. (2015) las definen como una capa delgada de material comestible, formada por separado y que es colocada sobre una superficie nivelada para su posterior uso. Por otra parte, la diferencia entre una película comestible (PC) y un recubrimiento comestible (RC), es que la película comestible es una matriz delgada que puede emplearse como recubrimiento o envoltorio para alimentos y deberá estar previamente preformada, actuará como una barrera en el entorno que lo rodea, (Janes y Dai., 2012). Mientras que un recubrimiento comestible es una matriz continua delgada que se coloca alrededor de un alimento por inmersión. Generalmente se aplica en forma líquida sobre el alimento, sumergiendo el alimento en la sustancia generadora de la matriz continua. (García *et al.*, 2002).

Es importante la elección de las sustancias que conformarán una película ya que estas le proporcionarán las propiedades mecánicas y funcionales que le darán la aplicación a la misma (Vásconez *et al.*, 2009).

2.2.2 Características de las películas comestibles

Las películas comestibles han sido desarrolladas con el fin de extender la vida útil de los productos o enriquecerlos. Su formulación puede incluir polisacáridos, proteínas, y lípidos; estas películas deben cumplir diversas características para mantener la integridad y calidad del alimento, algunas de estas son:

- Deberán ser libres de tóxicos y seguros para la salud
- Deberán tener buenas propiedades de barrera contra el agua, la humedad y gases como O₂, CO₂.
- Se podrán usar como portadoras de agentes antimicrobianos, antioxidantes, o nutrientes como vitaminas y minerales.
- Deberán ser resistentes a la tensión (TS, MPa) que será la máxima resistencia que presenta la película al estiramiento, mientras que la elongación al rompimiento (EB, %) será la medida de la capacidad de estiramiento o flexibilidad que tiene la película, ambas deberán medirse hasta que la película se rompa (Yang y Paulson., 2000).
- Deberán mejorar la apariencia, integridad y propiedades mecánicas para mantener la estructura y preservar la textura (Fernández *et al.*, 2015).

Se deben evaluar las propiedades mecánicas, ópticas y antimicrobianas como restringir la transferencia de gases (O₂ y CO₂) para determinar la aplicación de la película, así como controlar la transferencia de compuestos aromáticos (Miller y Krochta., 1997).

2.2.3 Componentes para su elaboración

El uso de una película comestible para diversas aplicaciones alimentarias se basa en características como: costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas como tensión y flexibilidad, propiedades ópticas como brillo y opacidad, el efecto barrera que tiene contra el flujo de gases, resistencia a microorganismos, y finalmente aceptación sensorial. Características que son dadas por la

concentración de los componentes que se usan para su elaboración, así como temperatura, tipo de aditivos y pH (Rojas *et al.*, 2009).

En la elaboración de películas comestibles se emplean mezclas entre polímeros con el fin de contrarrestar las deficiencias propias de cada componente y así mejorar las propiedades del material resultante (Li *et al.*, 2007). Al combinar diversos lípidos y proteínas se pueden aprovechar las propiedades de cada uno, como carboximetilcelulosa, caseína, pectina, goma guar, gluten de trigo, gelatina adicionada con glicerol, sorbitol y sucrosa como plastificantes, (Ponce *et al.*, 2008), gelatina - caseína entrecruzadas con transglutaminasa (Chambi y Grosso., 2006). También se han hecho investigaciones donde se han incorporado antimicrobianos naturales, otros han usado almidón de maíz estándar y pregelatinizado que han sido de interés por su bajo precio y accesibilidad (Kechichian *et al.*, 2010).

Las películas comestibles se clasifican según los materiales empleados en su preparación: proteínas, hidrocoloides, lípidos y películas compuestas (Figura 1).

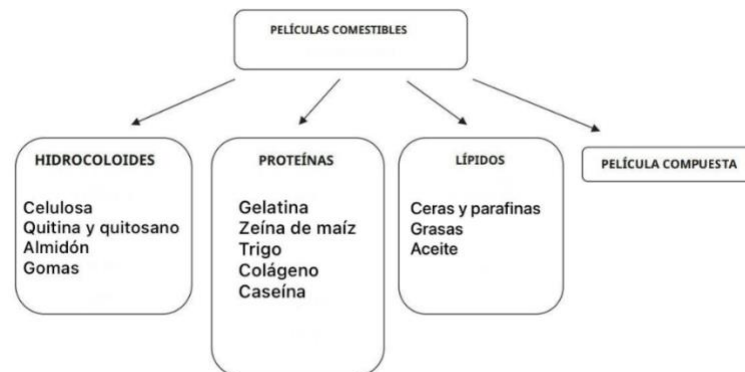


Figura 1. Clasificación de materiales empleados en películas comestibles (Información tomada y adaptada de Trinetta., 2016)

2.2.3.1 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son polímeros hidrofílicos de cadena larga, de alto peso molecular, generalmente con muchos grupos hidroxilo, que presentan viscosidad cuando se

disuelven en agua lo que proporciona un efecto espesante (Janes y Dai., 2012). Actúan como estabilizantes, espesantes o gelificantes en diversos sistemas alimenticios, los hidrocoloides imparten viscosidad a sistemas acuosos, algunos tienen la capacidad de formar geles bajo ciertas condiciones de proceso. También se utilizan como estabilizadores de emulsiones y suspensiones, para el control de la cristalización, en la inhibición de sinéresis y para la formación de películas (Dziezak., 1991).

En la formación de películas, los hidrocoloides son una buena opción ya que las películas resultantes tienen propiedades flexibles, inodoras, resistentes a aceites y grasas, solubles en agua, transparentes, y con una moderada resistencia contra la humedad y el oxígeno (Trinetta, 2016).

Las principales propiedades de los hidrocoloides son el espesamiento, la gelificación y la estabilización. Estas propiedades funcionales se dan por la interacción de polisacáridos con agua, que actúan como gelificantes construyendo una red tridimensional de cadenas interconectadas dentro de la cual se liga un sistema acuoso; y como espesantes debido a que retienen agua. Estos se comercializan en forma de polvo para después ser hidratados para su uso (Penna., 2002).

Los hidrocoloides se agrupan en tres categorías principales: hidrocoloides naturales, hidrocoloides semisintéticos e hidrocoloides sintéticos como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los hidrocoloides

Clasificación	Compuestos
Hidrocoloides naturales	Exudados de plantas: Arábigo, Tragacanto, Karaya, Ghatti Semillas de plantas: Garrofin, Guar Extractos de algas marinas: Algas, alginatos, carragenina Almidones Animal: Gelatina, albúmina, caseína Subproducto vegetal: Pectina, arabinogalactano.
Hidrocoloides semisintéticos	Derivados de celulosa: Carboximetilcelulosa (CMC), metilcelulosa, hidroxipropilcelulosa Gomas de fermentación microbiano: Xantan, gelano. Almidones modificados: Carboximetil almidón, hidroxipropil almidón. Modificados químicamente: Alginato de propilenglicol, pectina metoxilada.
Hidrocoloides sintéticos	Polímeros vinílicos: Polivinilalcohol (PVA), polivinilpirolidina (PVP) Polímeros de óxido de etileno: Polyox

Información tomada de (Glicksman., 1982)

Dentro de los hidrocoloides naturales se encuentra el almidón, el cual es ampliamente utilizado para la elaboración de películas comestibles. Es importante considerar que los gránulos deben ser separados previamente mediante un proceso de gelatinización en un medio acuoso, donde los gránulos se hinchan provocando la rotura de la matriz de amilopectina y liberando amilosa; este sería un primer paso donde el disolvente se difunde a través de los gránulos de almidón, y un segundo paso sería donde se funden los cristales de almidón (Carvalho., 2008).

El almidón es un recurso renovable y económico, principal fuente de polisacáridos naturales ampliamente disponible (Lourdin *et al.*, 1995). Es un polímero que forma parte de más del 60% de los granos de cereales siendo fácil separarlo de los demás componentes químicos (Arvanitoyannis y Kassaveti., 2009).

Los almidones tienen una función importante en la industria alimentaria ya que pueden usarse para cambiar las propiedades físicas de sopas, salsas o productos cárnicos, modificando principalmente la textura del alimento, pero también la adhesión, viscosidad, retención de humedad, capacidad de formar gel y películas (Thomas y Atwell., 1997). Dentro de los almidones más utilizados se encuentra el almidón de papa.

2.2.3.2 Almidón de papa

Como se ha mencionado el almidón es un polímero natural que es valorado por su capacidad de formar una película en una superficie tras su aplicación para diferentes usos (Jiménez *et al.*, 2012).

En la papa, el almidón constituye la principal fuente de energía, sin embargo, esta energía puede variar dependiendo del cultivo y crecimiento de este por lo que se encuentra en un rango de 66 a 80% en base seca (Liu *et al.*, 2007).

Almidones de diferentes fuentes como trigo, maíz, papa y yuca se han utilizado, obteniendo películas con buenas propiedades de flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua (Parra *et al.*, 2004).

El almidón de papa es un polisacárido que junto con lípidos, proteínas y ácidos nucleicos constituye una clase importante de moléculas bioactivas (Medina y Salas., 2008), lo que lo hace un factor importante para la industria alimentaria ya que al utilizarse como materia prima en la elaboración de diversos productos éste aporta características como: resistencia a la degradación enzimática, alta viscosidad y capacidad para enlazarse con agua, no aporta ningún sabor, lo que lo hace versátil para poder ser combinado con otros alimentos (Singh y Kaur., 2009).

Las características antes mencionadas se atribuyen a su estructura granular y molecular ya que los gránulos son grandes y suaves, contienen un alto contenido de fosfato unido a cadenas de amilosa y amilopectina siendo de gran peso molecular, que lo convierten en un biopolímero funcional. En particular una de sus aplicaciones es para la fabricación de películas comestibles (Blennow *et al.*, 2003).

En comparación con otros almidones comerciales, la estructura bien ordenada y densa del granulo de almidón de papa lo hace resistente a la degradación enzimática, producida por enzimas hidrolíticas como las amiloglucosidasas y las α -amilasas (Sun *et al.*, 2006).

La amilopectina representada en la Figura 2 es el componente que se encuentra en mayor cantidad en el almidón de papa constituyendo entre el 70 y 80% del peso independientemente del tamaño de los gránulos, por otra parte, el componente que se encuentra en menor cantidad es la amilosa (Hoover., 2001).

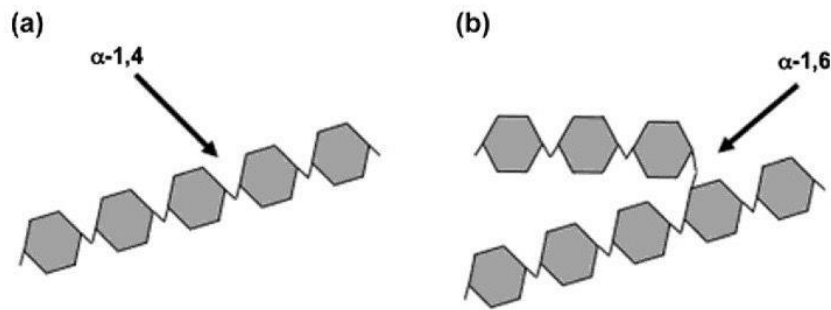


Figura 2. Estructura química de (a) amilosa y (b) amilopectina.

Información tomada de (Bertoft y Blennow., 2016)

2.2.3.4 Plastificantes

Los plastificantes se incorporan a las películas comestibles para mejorar las propiedades mecánicas de la misma, así como incrementar la flexibilidad, tener una película menos frágil y disminuir la formación de grietas. Sin embargo, un aspecto importante a considerar es que disminuyen la capacidad para que la película actúe como barrera contra el oxígeno, aromas y humedad, debido a que el plastificante disminuye las fuerzas intermoleculares de las cadenas poliméricas, lo que facilita la movilidad molecular (Krochta., 2002).

Las películas comestibles generalmente se preparan disolviendo el ingrediente principal en agua, alcohol, o una mezcla de solventes, a los que se puede añadir un plastificante para dar las propiedades de elasticidad y flexibilidad; también se pueden combinar con agentes antimicrobianos, saborizantes y colorantes según la finalidad de aplicación (Janjarasskul y Krochta., 2010).

Los plastificantes y emulsificantes son de gran importancia para la elaboración de películas comestibles, dentro de los plastificantes más utilizados se encuentran el glicerol, ácidos grasos, sorbitol, aceites y ceras que son moléculas pequeñas de bajo peso molecular que se incorporan para mejorar la flexibilidad de las películas haciéndolas menos frágiles (Andrade *et al.*, 2014).

El glicerol representado en la Figura 3, también conocido como propanotriol o glicerina, es un alcohol higroscópico, soluble en agua que contiene tres grupos hidroxilo (-OH), ebulle a 290 °C, y es un compuesto líquido a temperatura ambiente incoloro e inodoro. La presencia de los tres grupos hidroxilo hace que sea higroscópico y fácilmente soluble en agua y alcoholes (Kong *et al.*, 2016).

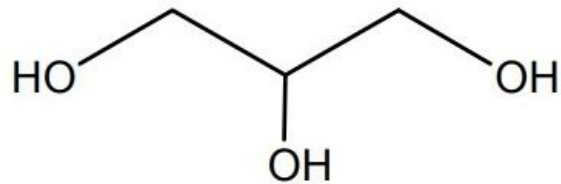


Figura 3. Fórmula estructural del propanotriol.

Es el plastificante más utilizado en la elaboración de películas, debido a su alta disponibilidad, bajo costo, y compatibilidad con diversos materiales. Proporciona buena flexibilidad a la película y no reduce su resistencia a la tracción; sin embargo, tiene dos desventajas: no reduce la permeabilidad al vapor de agua y la higroscopicidad afecta a las diversas aplicaciones que podría tener la película comestible (Domínguez y Jiménez., 2012).

El plastificante más utilizado en películas comestibles es la glicerina, que es un subproducto de la esterificación en la producción de biodiesel y es una sustancia que se produce en grandes cantidades (Betancourt *et al.*, 2016).

2.3 Métodos de elaboración de películas comestibles

Las películas están formadas por tres componentes: el polímero, el disolvente y finalmente el plastificante, las técnicas comúnmente utilizadas para la elaboración de las películas y recubrimientos comestibles son las siguientes:

- Por gelación térmica. - La aplicación de un tratamiento térmico en este proceso permite la formación de un gel estable de estructura rígida. Esta técnica es utilizada generalmente para películas y recubrimientos elaborados a base de proteínas; es, descrita como un proceso en el que la desnaturalización térmica desestabiliza las moléculas de proteínas, las cuales dan lugar a la formación de un entramado estable entre partículas (Carmona *et al.*, 2007).
- Por solidificación. - En este método las macromoléculas del polímero junto con el plastificante son disueltas hasta su homogeneización y son vertidas en capas finas sobre moldes (Ávila *et al.*, 2012).
- Por el método de “Casting”. - Una vez realizada la disolución de los componentes de la película, se realiza la evaporación del disolvente bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, provocando la formación de la película (Escobar *et al.*, 2009).

Al comparar películas de almidón recién preparadas y películas almacenadas se observa que en las almacenadas el fenómeno de cristalización provoca que las películas sean más rígidas, estos efectos pueden inhibirse agregando compuestos funcionales u otros polímeros con lo que adquieren propiedades mecánicas y de barrera mejoradas dependiendo del método de procesamiento (Jiménez *et al.*, 2012). Los métodos secos para la fabricación de películas son los más recomendables debido a la mayor viabilidad del proceso industrial. Por lo cual, es importante tener una buena comprensión de los cambios nano y microestructurales que ocurren en las matrices de almidón y su impacto en las películas (Jiménez *et al.*, 2012).

2.3.1 Películas bicapa

Las películas bicapa son aquellas que están conformadas por tres partes: dos capas y un adherente que se emplea para unir las dos capas que se desean, esto con el fin de mejorar las propiedades mecánicas, ópticas y de barrera de los materiales empleados (Muller *et al.*, 2017).

Las películas bicapa o multicapa combinan las propiedades de los materiales de una película en una única estructura multicapa (Fabra *et al.*, 2013). Por ejemplo, se pueden obtener películas multicapa de almidón/ PCL, lo cual permite combinar las propiedades de barrera al oxígeno del almidón y la hidrofobicidad del almidón PCL.

En la actualidad las películas bicapa se emplean para diversos envases de alimentos, por ejemplo, en pastas o vegetales, aunque éstas normalmente están formadas por diversas capas de polímeros no biodegradables (Mensitieri *et al.*, 2011).

Sin embargo, una de las ventajas más importantes de las películas bicapa es que se pueden elaborar con polímeros biodegradables que se encuentran con una amplia disponibilidad en la naturaleza, lo que conlleva a que tengan bajo costo.

Así como también al realizar películas bicapa se pueden mejorar las propiedades funcionales de las películas y aprovechar al máximo su capacidad de barrera, ya que se complementarían, siendo estas muy rentables para el presente y el futuro (Muller *et al.*, 2017).

2.3.2 Películas bioactivas

Se les denominan películas bioactivas o inteligentes cuando estas son capaces de cambiar las condiciones del alimento, extender la vida en anaquel, mejorar la seguridad microbiológica y/o las propiedades sensoriales. Además de monitorear y ofrecer información acerca de la calidad durante el transporte y el almacenamiento (Puligundla *et al.*, 2012), éstas también pueden integrar ingredientes con actividad funcional como antioxidantes, vitaminas, prebióticos y probióticos (Falguera *et al.*, 2011). Por tanto, la funcionalidad definitiva de las películas estará relacionada, en parte, con sus propiedades bioactivas (antioxidante, antimicrobiana y antioscurecimiento) (López y Jiménez, 2015).

Entre otras aplicaciones, cocinar los alimentos envueltos en una película comestible puede ayudar a mantener su sabor; también alimentos que se cubren con la película

como algunos postres, se pueden consumir sin generar desechos. La incorporación de compuestos antimicrobianos y antioxidantes a las películas son de gran interés porque pueden alargar la vida útil de los productos envasados (Chiralt., 2014).

2.3.3 Aplicaciones en alimentos

Las películas comestibles pueden ayudar a mejorar la calidad y extender la vida útil de productos alimenticios. Para aplicar exitosamente esta tecnología de empaque se debe entender el problema que presenta el alimento y establecer claramente la función que la película ejerce sobre él. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones como: la forma en que las propiedades de la solución formadora de la película pueden afectar el producto, cómo puede cambiar la película con el tiempo, la interacción que se establecerá entre el polímero y el alimento; así como hasta qué punto la película se puede ver afectada por las condiciones de almacenamiento (Bourtoom., 2009).

El oxígeno es responsable de muchos de los procesos de degradación que ocurren en los alimentos como oxidación lipídica, crecimiento de microorganismos, oscurecimiento enzimático y pérdida de vitaminas; por lo que, los procesos oxidativos ocasionan la degradación de proteínas, lípidos y pigmentos disminuyendo la vida en anaquel del producto (Atarés *et al.*, 2010).

Las películas comestibles también han sido utilizadas como acarreadores de sustancias activas (antioxidantes, antimicrobianos, entre otros), que son liberadas lentamente en el alimento y retrasan el proceso de oxidación o contaminación microbiana (Baysal *et al.*, 2010).

2.4 Proteínas utilizadas en la elaboración de películas comestibles

Los polímeros naturales como las proteínas ofrecen una gran oportunidad para ser utilizados como materia prima en la elaboración de películas comestibles debido a su biodegradabilidad ya que pueden suplementar el valor nutritivo de los alimentos.

Por otro lado, le confieren al polímero un amplio rango de propiedades debido al potencial que tienen para formar enlaces intermoleculares (Bourtoom., 2009).

Las proteínas presentan la habilidad de formar películas, cuyas características dependen de la masa molar, conformación, propiedades eléctricas, flexibilidad y estabilidad térmica (Díaz., 2015). Durante la elaboración de éstas, es necesario considerar la temperatura y el pH, ya que cualquier modificación podría desnaturalizar la proteína y modificar sus propiedades.

Las películas obtenidas de proteínas son transparentes y flexibles cuando están elaboradas con base de agua y presentan buenas propiedades mecánicas y de barrera, comparadas con las que están hechas a base de polisacáridos y lípidos (Jongjareonrak *et al.*, 2008).

Las proteínas al tener una estructura única presentarán un amplio intervalo de propiedades funcionales, especialmente un alto potencial de uniones moleculares; sin embargo, la resistencia al vapor de agua es baja (Huff., 2008). Gracias a las diferentes conformaciones que presentan las proteínas, es que se podrán formar películas con alto grado de cohesividad, que son estabilizadas cuando se forman nuevos enlaces o interacciones.

Dentro de las proteínas fibrosas, el colágeno ha recibido una gran atención en la producción de películas comestibles (Villada *et al.*, 2007); sin embargo, proteínas globulares como el gluten de trigo, la zeína de maíz, la proteína de soya y la proteína de suero de leche, también están siendo investigadas para la formación de películas (Rakotonirainy *et al.*, 2001).

Las proteínas que se utilizan para la elaboración de películas se clasifican en proteínas de origen vegetal y proteínas de origen animal.

2.4.1 Proteínas de origen vegetal

Los productos de origen vegetal generalmente tienen un bajo contenido de proteína, siendo los polisacáridos el componente mayoritario de las mismas y que han sido utilizados como materia prima para la elaboración de películas comestibles. Por otro lado, los cereales y las leguminosas tienen un mayor contenido de proteínas en su composición entre 8 a 15 % y 17 a 45 %, siendo aisladas y estudiadas para la formación de películas comestibles (Olvera *et al.*, 2000).

En el caso de leguminosas, investigadores como Cho *et al.* (2007) reportan estudios sobre el potencial de la proteína de soya para la formación de películas comestibles. Generalmente se utilizan aislados de proteína de soya, con más del 90 % de proteína, obtenidos por extracciones ácidas y alcalinas, que posteriormente se solubilizan en soluciones acuosas alcalinas para formar las películas cuando se elimina el disolvente por secado. Las películas de proteína de soya requieren de la adición de plastificantes para darles textura y flexibilidad, siendo el glicerol y el sorbitol los más usados (Rhim *et al.*, 2002).

Tabla 4. Propiedades que obtienen las películas de distintas fuentes de proteína

Materia prima	Proteína	Propiedades	Referencia
Zeína	Vegetal	Brillantes, impermeables	Mendoza <i>et al.</i> , (2006)
Gluten de trigo	Vegetal	Baja permeabilidad a los gases	Gontard <i>et al.</i> , (1994)
Suero de leche	Animal	Buena flexibilidad	Rossi <i>et al.</i> (2009)
Caseína	Animal	Transparencia	Atarés <i>et al.</i> , (2010)

Información tomada de Atarés *et al.* (2010)

2.4.2 Suero de leche

El líquido que resulta de la eliminación de la grasa y caseína de la leche por coagulación isoeléctrica o inducida por cuajo de la caseína se le denomina suero de leche o lactosuero, este puede ser principalmente: lactosuero ácido y dulce (Esnoval *et al.*, 2017).

Las proteínas derivadas de la leche, como las del suero y caseína, se han estudiado ampliamente debido a su alto valor nutricional. La caseína se utiliza para obtener películas a partir de soluciones acuosas debido a su habilidad para formar enlaces intermoleculares hidrógeno, electrostáticos e hidrofóbicos, que incrementan la cohesión del polímero (Atares *et al.*, 2010).

Las proteínas del suero de leche están formadas por diferentes proteínas individuales globulares y termolábiles, constituidas principalmente por β -lactoglobulina, las películas comestibles a las que dan origen se caracterizan por

presentar buenas propiedades de barrera al oxígeno, a los lípidos y a los aromas (Regalado *et al.*, 2006).

Las proteínas de la leche, así como las provenientes del maíz, trigo y soya, son utilizadas por su calidad nutricional y excelentes propiedades sensoriales y funcionales (Campos *et al.*, 2011).

La selección del solvente es uno de los factores más importantes, sobre todo para la formación de películas comestibles, donde agua, alcohol, ácido acético en algunos casos, y sus mezclas son los solventes apropiados para este fin (Taylor *et al.*, 2005).

El lactosuero dulce mostrado en la Tabla 5, es obtenido mediante la elaboración de quesos que son prensados, estos quesos normalmente se hacen con leche de vaca o de oveja. El lactosuero dulce contiene mayor cantidad de lactosa, sin embargo, es pobre en calcio, fósforo y ácido láctico (Callejas *et al.*, 2012). Se obtiene mediante el uso de enzimas proteolíticas las cuales actúan sobre las caseínas de la leche y las fragmentan, haciendo que se desestabilicen y precipiten.

El lactosuero ácido contiene mayor concentración de ácido láctico, es obtenido por la precipitación ácida de la caseína, y esto se logra con la disminución del pH en la leche a 4.5 (Callejas *et al.*, 2012).

Las proteínas lácteas solubles se llaman proteínas del lacto suero, constituyen el 20 % de las proteínas lácteas totales. Las inmunoglobulinas, proteasa, β -lactoglobulina, albúmina sérica, α -lactoalbúmina forman las proteínas del suero de leche de vaca y tienen características funcionales como un amplio rango de pH y la solubilidad que las convierten en el ingrediente idóneo para la formulación de películas comestibles (Escobar *et al.*, 2009).

Las propiedades funcionales de las proteínas del lactosuero como la formación de espuma, textura, consistencia, hidratación, emulsificación se dan principalmente por la β -lactoglobulina como por la α -lactoalbumina (Parra., 2009).

Tabla 5. Composición del lactosuero dulce y ácido

Componente (g/L)	Lactosuero dulce	Lactosuero ácido
Sólidos totales	63.0-70.0	63.0-70.0
Lactosa	46.0-52.0	44.0-46.0
Grasa	0.0-5.0	0.0-5.0
Proteína	6.0-10.0	6.0-8.0
Calcio	0.4-0.6	1.2-1.6
Fósforo	0.4-0.7	0.5-0.8
Potasio	1.4-1.6	1.4-1.6
Cloruros	2.0-2.2	2.0-2.2

Información tomada de (Hernández y Vélez., 2014)

En lactosuero fresco las bacterias totales identificadas y aisladas fueron *Lactobacillus sp* con 87.18 %, de la especie *Lactobacillus* se encontraron *L.rhamnosus*, *L.paracasei*, *L.acidophilus*, *L.casei* y *L.fermentum*. En otro estudio similar en muestras de lactosuero se detectaron seis especies de microorganismos *L.rhamnosus*, *L.fermentum*, *L.zaeae*, *L.helvecticus*, *L.hilgardii* y *Pichia kudriavzevii*, todas las especies de estos lactobacilos demostraron tener actividad antibacteriana (Caballero *et al.*, 2015).

El lactosuero tiene un alto valor nutricional, por lo que se sugiere su uso en diversas industrias, sin embargo, solo el 40 % es destinado para aplicaciones alimentarias y consumo animal, y el 60 % es vertido sin tratamiento al ambiente creando un serio problema ambiental debido a la gran cantidad de materia orgánica que contiene ya que reduce el nivel de oxígeno disuelto en agua (Guerra., 2013).

Las películas basadas en proteínas de suero lácteo son una excelente barrera al oxígeno, pero son frágiles, por lo que al agregar un plastificante como el glicerol mejora sus propiedades mecánicas. Para la elaboración de películas se puede partir de un concentrado de proteínas al que se le aplica calor para su desnaturalización,

y al refrigerar se elimina el gas atrapado, y así se pueden usar como cobertura en productos sensibles al oxígeno como nueces o cacahuete. Esta cobertura evita su oxidación y prolonga su vida útil (Escobar *et al.*, 2009).

Otra aplicación para las películas comestibles en donde se emplea el suero lácteo es como anti-moho para quesos, derivados cárnicos o como barrera frente a la humedad en productos deshidratados (Famá *et al.*, 2003).

2.4.2.1 Composición nutricional del suero de leche

Tabla 6. Composición nutricional del suero de leche

Componente	Características
Lactosa	95% de la lactosa de la leche, en una proporción de 46.0 - 52.0 g/L en suero de leche dulce y 44.0 - 46.0 g/L en suero de leche ácido.
Proteína	Presenta alrededor del 25% de las proteínas contenidas normalmente en la leche: 6.0 g/L en suero de leche dulce y 6.0 - 8.0 g/L en suero de leche ácido.
α – Lactoalbúmina	30 % del total del contenido proteico
β – Lactoalbúmina	Importante porque tienen propiedades emulsionantes y cumple una función importante al interactuar con compuestos como ácidos grasos
Globulina	Corresponde al 10% del total de proteínas
Lípidos	0.5 % y 8% de la materia grasa de la leche.
Vitaminas	Tiamina 0.38 mg/mL, riboflavina 1.2 mg/mL, ácido nicotínico 0.85 mg/mL, ácido pantoténico 3.4 mg/mL.

Minerales	Calcio 0.4 - 0.6 g/L en suero de leche dulce y 1.2 - 1.6 g/L en suero de leche ácido, fósforo, potasio, sodio y magnesio.
Compuestos biológicamente activos y péptidos bioactivos	Para ejercer determinados efectos fisiológicos y bioactivos, con potencial antihipertensivo, actividad antimicrobiana, antioxidante, incremento de la saciedad entre otros.

Información tomada de Walstra *et al.* (2001)

2.5 Probióticos

La palabra "probiótico" deriva del latín "pro" que significa a favor de; y del griego "bios" que significa vida, en 1995 esta palabra definía a microorganismos que promovían el crecimiento de otros, después se aplicó para extractos de tejidos que estimulan el crecimiento microbiano. Este término ha tenido modificaciones y en los últimos 50 años el nombre probiótico se refiere a los cultivos solos o mezclados de microorganismos vivos que mejoran la microbiota intestinal, y al ser ingeridos evitan que se adhieran patógenos (Schrezenmeir y De Vrese., 2001).

En 2001 la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) definieron a los probióticos como: microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud del huésped (OMS, 2002).

Una buena alimentación deberá considerar la ingestión de alimentos llamados funcionales, que además de nutrir tendrán componentes que producen un impacto positivo en la salud. Los probióticos, son microorganismos vivos no patógenos de forma bacilar o coco gram positivos no esporulados que aportan diversos beneficios a la salud del huésped, los géneros, especies y cepas más usados para consumo, podrán ser de origen humano, y superviven en el tránsito del tubo gastrointestinal.

Tienen la propiedad de desdoblar algunos carbohidratos para producir compuestos de menor peso molecular como los ácidos láctico, propiónico, fórmico, acético, CO₂, diacetilo, H₂O₂, entre otros (Walker y Duffy, 1998).

Al ser ingeridos de distintas formas, manufacturados por la industria farmacéutica para específica indicación médica ya sea en cápsulas, polvo o líquidos, como alimentos suplementarios y alimentos funcionales, se manifestarán sus particulares efectos sobre la salud, ya que contribuirán a mejorar procesos digestivos, combatirán la microbiota patógena intestinal, así como mantendrán el equilibrio inmunológico (OMS 2002).

2.5.1 Bacterias ácido – lácticas (BAL)

A lo largo de la historia se ha reportado el consumo de productos fermentados lácteos con microorganismos vivos, especialmente bacterias ácido lácticas, ya que desde tiempos antiguos se evidenció el conocimiento de los beneficios que éstos proporcionarían en las personas que los consumían; sin embargo, quien enfatizó en ellos, fue el científico Elié Metchnikoff, que relacionó la ingestión de leches fermentadas, con la longevidad y salud de los habitantes en una determinada región de Bulgaria, los cuales incluían en su dieta leches fermentadas y vivían en promedio más de cien años; sin embargo actualmente se sabe que los responsables del fermento eran microorganismos productores de ácido láctico de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Pardio et al., 1996).

Las BAL fermentan carbohidratos, son anaeróbicas, no móviles, catalasa-negativas, no esporuladas, en forma coco bacilar o bacilar, y producen ácido láctico, también son conocidas como bacterias GRAS, están clasificadas en dos grupos: heterofermentativas y homofermentativas (Patel y Parikh., 2016).

Las heterofermentativas catabolizan la glucosa en etanol, CO₂ y ácido láctico, en este grupo están la *L. mesenteroides*, *L. cremoris*, *L. brevis*, *L. fermentum*, y *Leuconostoc*.

Las homofermentativas convierten la mayor parte de la glucosa en ácido láctico, actuando mediante la glucólisis o también llamada vía metabólica de Embden-Meyerhof, donde por cada molécula de glucosa se producen dos de ácido láctico.

Las bacterias homofermentativas son las únicas empleadas para producir ácido láctico, en este grupo están: *L. delbrueckii*, *L. bulgaricus*, *L. plantarum*, *L. casei*, *L. helveticus*, *S. lactis*, *S. faecalis*, *S. cremoris*, *S. termophilus*, *P. serevisiae* (Patel y Parikh., 2016).

Por sus beneficios sensoriales y nutricionales, estas bacterias se han usado mucho tiempo en alimentos fermentados. Asimismo, las BAL han tenido gran importancia en la conservación y seguridad de alimentos, ya que son inhibidoras de microorganismos (Caballero *et al.*, 2015). Actualmente se adicionan como cultivos indicadores para el control en el procesamiento de alimentos fermentados mediante el enriquecimiento de cultivos de este tipo (Alfano *et al.*, 2015).

2.5.2 Género *Lactobacillus* spp

Lactobacillus está constituido por siete géneros: *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Oenococcus*, *Leuconostoc*, y *Pediococcus*, se caracteriza por que su metabolismo dentro de sus metabolitos segrega ácido láctico (Rajoka *et al.*, 2017).

Los *Lactobacillus* spp son el principal grupo de BAL, caracterizados por producir ácido láctico, sus requerimientos nutricionales son complejos y principalmente se encuentran en plantas, frutos, alimentos fermentados y en el organismo de los animales (Sun *et al.*, 2015).

La Food and Drug Administration (FDA) así como la European Food Safety (EFS) afirman que estas bacterias son seguras para el consumo ya que algunas especies de *Lactobacillus*, así como de *Bifidobacterium*, son habituales en la microbiota intestinal del sistema digestivo humano y que tienen un alto potencial para retener metales y metaloides tóxicos como Cd y As, por lo que se pueden aplicar en

procesos biotecnológicos para la mitigación de estos elementos (Gerbino *et al.*, 2014).

En la Tabla 7 se muestran los *Lactobacillus*, utilizados como probióticos.

Tabla 7. *Lactobacillus* identificados, aislados y utilizados como probióticos.

<i>Lactobacillus acidophilus</i> NCFM	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> LB21
<i>Lactobacillus casei</i> DN-114 001	<i>Lactobacillus salivarius</i> UCC 118
<i>Lactobacillus casei</i> CRL431	<i>Lactobacillus acidophilus</i> CL1285 y <i>L.casei</i> Lbc80r
<i>Lactobacillus casei</i> F19	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GR-1 y <i>L. reuteri</i> RC-14
<i>Lactobacillus casei</i> Shirota	<i>Lactobacillus helveticus</i> R0052 y <i>L.</i> <i>rhamnosus</i> R0011
<i>Lactobacillus johnsonii</i> Lal (Ljl)	<i>Lactobacillus lactis</i> LIA
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> ATCC 53013 (LGG)	<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 17938

Información tomada y adaptada de (Mariño *et al.*, 2016).

Los *Lactobacillus* aportan diversos beneficios para la salud: mejoran el sistema inmune, previenen patógenos que se asocian con la diarrea en niños y adultos, así como infecciones gástricas, enfermedades hepáticas entre otras.

2.5.3 *Lactobacillus rhamnosus*

Es una cepa del género *Lactobacillus* que se caracteriza por ser estable en ácido y bilis, por lo que es una bacteria segura en la cadena alimentaria según la (FFSA) Autoridad Europea de Seguridad, y la FDA, ya que son microorganismos seguros incluso para pacientes inmunodeprimidos, porque reestablece el equilibrio intestinal ya que los polisacáridos y el pili presentes en su superficie le permiten adherirse y colonizar la mucosa, mejor que otro lactobacilo (Dronkers *et al.*, 2020).

Es una bacteria que protege mecánicamente la mucosa, lo que beneficia al intestino y mejora la supervivencia de las células intestinales, reduciendo la muerte de estas células provocada por el propio organismo, por lo que se mantiene la integridad intestinal, también inhibe patógenos como *Salmonella spp* a través de proteínas similares a las lectinas (Capruso et al., 2019).

Lactobacillus rhamnosus está disponible como suplemento probiótico, que lo hace versátil para diversas aplicaciones ya que se puede agregar a yogurt, queso, leche, y otros productos lácteos para aumentar el contenido de probióticos, así como también alivia los síntomas del intestino irritable y el dolor abdominal (Pedersen et al., 2014).

Esta cepa se encarga de estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas como bifidobacterias y bacteroides, también aumenta la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como acetato, propionato y butirato (LeBlanc et al., 2017).

Este *Lactobacillus* produce ácido láctico (lactato) que es una sustancia con azúcares que crea de forma natural el cuerpo y que también suele estar en la leche, es una de las bacterias probióticas más investigadas desde hace tres décadas en la investigación clínica (Pace et al., 2015).

JUSTIFICACIÓN

El creciente interés por el desarrollo de películas comestibles para la conservación de los alimentos se debe, principalmente, a las exigencias cada vez mayores de las personas, respecto a la tendencia actual de emplear alimentos seguros, de buena calidad y listos para el consumo. Asimismo, las películas comestibles son una buena opción para la conservación de alimentos, ya que permiten alargar su vida útil y actuar como barrera selectiva contra los gases y la humedad. Estas películas retardan cambios químicos como el color, aroma y valor nutricional.

Por otro lado, se busca implementar dentro de la dieta alimentos funcionales que aporten beneficios a la salud, debido a que estos añadirán compuestos químicos necesarios para realizar diversas funciones vitales y mejorar el estado físico de quien los consume.

Es por ello, que este trabajo propone elaborar y aplicar una película comestible bicapa formulada con mango y probióticos los cuales generarán un beneficio extra, pues el mango proporcionará vitaminas y minerales que se absorben fácilmente en el intestino delgado y que actuarán como antioxidantes en el organismo de quien las consume, y junto con los probióticos proporcionarán un balance intestinal, protegiendo al aparato digestivo de microorganismos patógenos, mejorando la digestión y absorción de los alimentos.

OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Desarrollar, caracterizar y aplicar una película comestible funcional bicapa a base de mango y probióticos.

4.2 Objetivos particulares

- Caracterizar la pulpa de mango y el almidón de papa en sus propiedades fisicoquímicas y antioxidantes.
- Formular soluciones formadoras de película variando la cantidad de pulpa de mango, suero de leche y probióticos.
- Caracterizar las películas comestibles formuladas en sus propiedades microbiológicas, fisicoquímicas, texturales, antimicrobianas, químico – proximal y antioxidantes.
- Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento (4 °C y 20 °C) sobre las características anteriormente mencionadas de las películas formuladas.
- Evaluar sensorialmente la aplicación de la película comestible seleccionada con base en las características mencionadas anteriormente en sushi.

DIAGRAMA DE TRABAJO

El esquema de trabajo que se siguió para la realización de este proyecto se muestra en la Figura 4 y se describe con más detalles en la metodología.

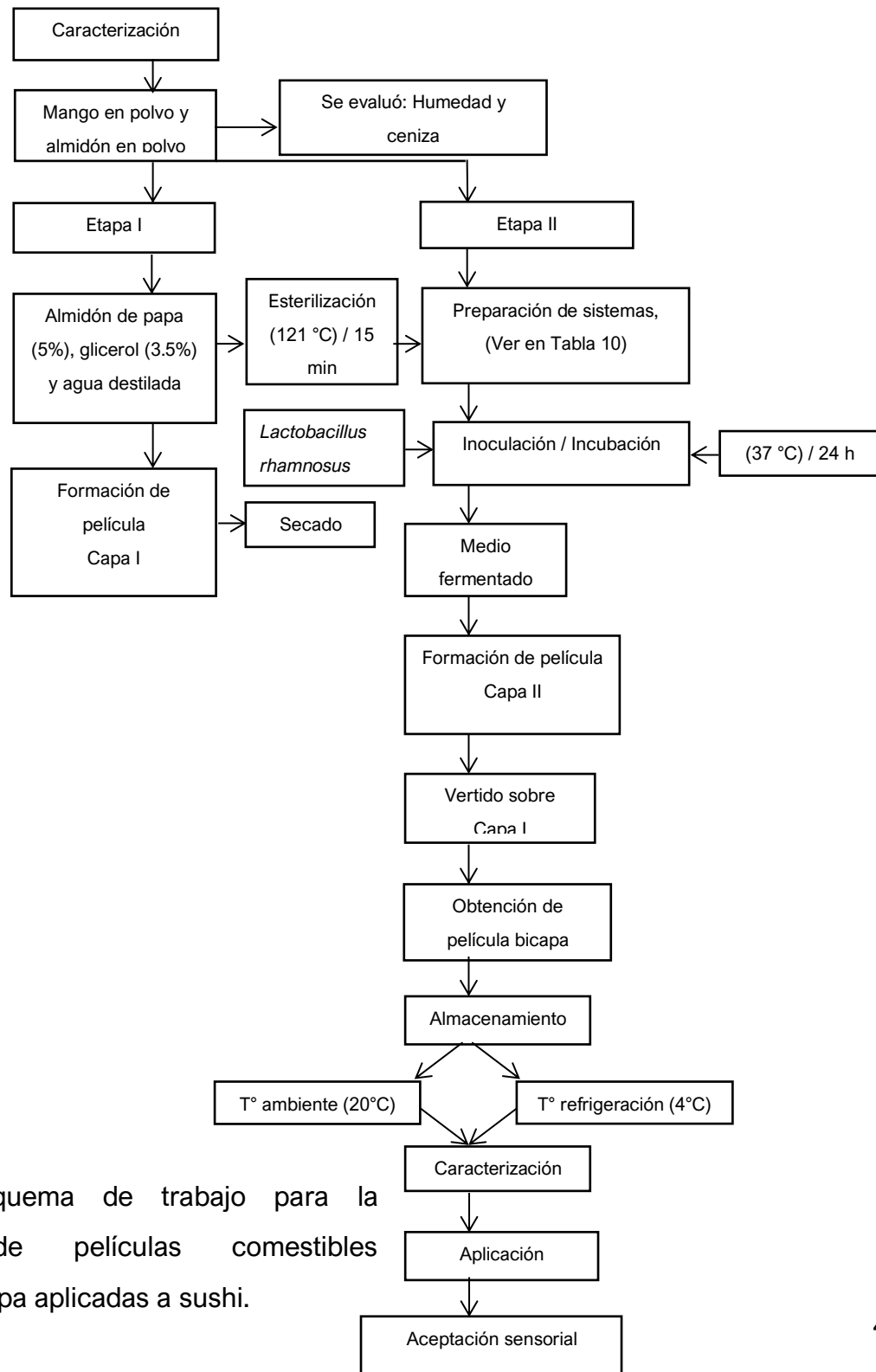


Figura 4. Esquema de trabajo para la elaboración de películas comestibles funcionales bicapa aplicadas a sushi.

MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio: El necesario para cada determinación.
- Material biológico: Mango manila (*Mangifera indica* L.) en buen estado, maduro, se excluyeron mangos verdes, pigmentados, con contaminación evidente o muy maduros, cepa de *Lactobacillus rhamnosus* (NRRL B-442) de la colección de cepas del Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas, suero de leche, almidón de papa y glicerol.
- Reactivos: Los necesarios para cada determinación grado analítico o grado alimenticio.

Tabla 8. Métodos y referencias utilizados en la investigación

Determinación	Técnica	Referencia
Bacterias ácido-lácticas (BAL)	Vertido en placa	NOM-092-SSA1-1994
Capacidad antioxidante	Método espectrofotométrico (DPPH)	Hernández <i>et al.</i> , (2016)
Compuestos fenólicos	Método espectrofotométrico (Folin-Ciocalteu)	Hernández <i>et al.</i> , (2016)
Color	Colorimetría	Alva <i>et al.</i> , (2015)

Humedad	Secado en estufa de convección	AOAC, (2000)
Ceniza	Calcinación en mufla	AOAC, (2000)
Proteína	Método Kjeldahl	AOAC,(2000)
Permeabilidad al vapor de agua	Método gravimétrico ASTM E 96	ASTM, (1996)
Resistencia a la tracción (TS) y alargamiento a la rotura (BEF)	Método ASTM D882	ASTM, (1995)
Evaluación sensorial	Discriminativo afectivo	Greis <i>et al.</i> , (2020)

Tabla 9. Equipos utilizados en la investigación

Equipo	Marca	Modelo
Autoclave	CISA	AS-25
Balanza analítica	Ohaus – Serie Pioneer	PA 224C
Baño de agua AquaBath	Barnstead Lab-Line	18005AQ
Campana de flujo laminar vertical	Prendo	CFLV-102
Colorímetro	PCR	TCR 200
Contador de colonias	SOL-BAT	Q-20
Incubadora	LUZUREN	DHP-500
Incubadora orbital	Prendo	INO-650
Medidor de pH portátil	Conductronic	PH10
Parrilla digital	Fisher Scientific	Isotemp
Refrigerador	MABE	RMT510
Deshidratador	Excalibur	2900ECB
Estufa de convección	Felisa	FE-293AD

METODOLOGÍA

7.1 Adquisición de mango manila (*Mangifera indica* L.) y almidón de papa en polvo

Los mangos empleados (*Mangifera Indica* L.) se obtuvieron de un supermercado local en Puebla, México. Para su selección se tomaron las siguientes características, que fueran frutos maduros, de color brillante, libres de daños físicos, y microbiológicos aparentes; estos se lavaron y pelaron manualmente con un cuchillo de acero inoxidable y se cortaron en trozos de un tamaño aproximado de 2 cm, para después ponerlos a secar a 55 °C durante 24 h. Los trozos (secos) obtenidos fueron molidos y tamizados a 180 µm, el cual nos dio como resultado un polvo. Este fue almacenado en botellas de vidrio recubiertas de aluminio a 20 °C para su uso posterior. El almidón de papa en polvo utilizado se adquirió de Fabsa en Ciudad de México, México.

7.2 Caracterización bromatológica y de compuestos bioactivos en mango y almidón de papa en polvo

Se determinó la humedad y cenizas empleando las técnicas de la AOAC (2000), se determinó la humedad por método de secado en horno a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, según la metodología 925.25 de la AOAC, y las cenizas se incineraron en una mufla a 525 °C hasta la obtención de cenizas color blanco.

El análisis de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos, se evaluaron realizando extractos del polvo de mango, se mezcló el polvo en 100 mL de agua destilada y filtró con algodón. La capacidad antioxidante se evaluó en base al método descrito por (Hernández et al., 2016), mezclando 1 mL de extracto, con 1 mL de DPPH 0.004% posteriormente se dejó reposar durante 30 minutos en un ambiente sin luz, y transcurrido el tiempo se leyó a 517 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. Los resultados obtenidos se expresaron como mg de Trolox por 100 g, por medio de una curva estándar de Trolox. Los compuestos fenólicos se evaluaron en base al método descrito por (Hernández et al., 2016), mezclando 1 mL de extracto, con 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteau 0.1 N y 3 minutos después se agregó 1 mL de Na_2CO_3 0.05 %, posteriormente se dejó reposar durante 30 minutos en un ambiente sin luz, y transcurrido el tiempo se leyó a 765 nm en

un espectrofotómetro UV-Vis. Los resultados obtenidos se expresaron como mg GAE (equivalente de ácido gálico) por 100g, por medio de una curva estándar de ácido gálico.

7.3 Elaboración de películas comestibles bicapa

Las películas comestibles bicapa se elaboraron en dos etapas:

Etapa 1: La solución filmógena primaria (película comestible 1) se preparó mezclando 5% almidón y 3.5 % glicerol con 240 mL de agua destilada, y luego se calentó a 70 °C durante 5 minutos, la solución fue esterilizada a 121 °C durante 15 minutos, posteriormente se vertieron 15 g de esta solución en papel encerado con 118 cm^2 y se secó a 40 °C durante 2 horas.

Etapa 2: La solución filmógena secundaria (película comestible 2) se preparó por medio de diferentes sistemas (Tabla 10), todas las soluciones fueron esterilizadas a 121 °C durante 15 minutos y los sistemas 1, 3, 4, 5, 7 y 8 fueron inoculados con (1×10^9 UFC/mL) de *L. rhamnosus* NRRL B442 e incubados a 37 °C durante 24 h, los sistemas 2 y 6 que son los sistemas no inoculados se utilizaron como controles. Después de la incubación se vertieron 60 g de las soluciones filmógenas secundarias (película comestible 2) sobre la película comestible 1 seca, y nuevamente se secó durante 24 h a 40 °C.

Tabla 10. Formulación de sistemas para la conformación de la película comestible 2.

Sistemas	Suero de leche en polvo 5%	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> $\frac{10^9 \text{ UFC}}{\text{mL}}$	Mango en polvo 5%	Glicerol 3.5 %	Agua 240 MI
1	X	X	X	X	X
2	X		X	X	X
3	X	X		X	X
4		X	X	X	X
5	X	X	X	X	X
6	X		X	X	X
7	X	X		X	X
8		X	X	X	X

7.4 Evaluación de películas comestibles bicapa durante el almacenamiento

Después del secado durante 24 h a 40 °C a peso constante, las películas comestibles se retiraron suavemente y se almacenaron 28 días en bolsas de LLDPE, a 20 °C los sistemas 1,2,3,4 y a 4 °C los sistemas 5,6,7 y 8 para estudiar su estabilidad física, mecánica, antioxidante y probiótica.

7.5 Análisis de humedad

El contenido de humedad se realizó como el procedimiento descrito en el análisis del polvo del apartado 7.2, con la diferencia de que ahora se realizó con las películas comestibles bicapa formadas.

7.6 Análisis de espesor

El grosor (Th) de las películas comestibles se evaluó midiendo cinco diferentes partes de las películas, utilizando un micrómetro milimétrico, con una sensibilidad de 0.01 mm.

7.7 Análisis de permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas comestibles se evaluó en base al método gravimétrico ASTM E96, cada película se cortó en forma rectangular y se usó para sellar un recipiente de vidrio que contenía 10 mL de agua, posteriormente este recipiente se llevó a refrigeración a 4 °C, 45 % de humedad relativa, y se pesó cada hora durante 10 horas.

WVP se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$WVP \left(\frac{gm}{sm^2Pa} \right) = \frac{WVTR \times Th}{\Delta P}$$

Donde WVTR es la tasa de transmisión de vapor de agua expresada en $\left(\frac{g}{hm^2} \right)$, Th es el espesor en mm y ΔP es la diferencia entre presiones parciales del vapor de agua en KPa.

7.8 Análisis de propiedades mecánicas

La resistencia a la tracción (TS) y alargamiento a la rotura (EAB) se evaluaron en base al método ASTM D882, utilizando un texturómetro, las películas comestibles se cortaron en forma rectangular con medidas de 3.5 cm x 6.0 cm, y se sujetaron firmemente entre pinzas mecánicas a una distancia de 3 cm, la fuerza ejercida en MPa y la deformación en mm se registraron durante la extensión a 60 mm/min.

7.9 Análisis de color

Los parámetros de color de las películas comestibles bicapa L^* (Luminosidad), a^* (+rojo, - verde) y b^* (+amarillo, - azul) de la escala de CIELab, se evaluaron utilizando un colorímetro, la lectura se tomó en la parte superior de cada película comestible, tomando tres medidas en diferentes partes de las películas, en condiciones ambientales de luz y temperatura.

El cambio de color (ΔE) se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

Donde L^* , a^* y b^* son los parámetros de color correspondientes a la medición durante 28 días de almacenamiento.

7.10 Análisis de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Se evaluaron realizando extractos de cada una de las 8 películas comestibles, se mezclaron en 100 mL de agua destilada 5 g de película, se filtraron con algodón y se utilizaron para analizar la capacidad antioxidante. Los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se evaluaron como se describió previamente.

7.11 Recuento de probióticos

Los microorganismos probióticos se evaluaron después de la elaboración de las películas comestibles bicapa, a lo largo de los 28 días de almacenamiento, en las películas que se elaboraron con suero fermentado con base al método descrito en la (NOM-092-SSA1-1994), tomando 1g de película comestible y realizando las diluciones correspondientes con agua peptonada, para sembrar posteriormente, en agar MRS e incubar a 37 °C durante 24 h en condiciones de anaerobiosis. Por último, se realizó un conteo en placa para determinar la presencia de BAL expresando los resultados en Log (UFC/mL).

7.12 Aplicación y aceptación sensorial

Al finalizar el almacenamiento de 28 días, la película comestible bicapa que mantuvo las mejores características de calidad, se utilizó para cubrir sushi hecho de arroz, aguacate, pepino y queso crema, para de esta forma estudiar su aceptación sensorial.

El sushi cubierto con la película comestible bicapa se evaluó proporcionando una rebanada de sushi de 1 cm a 50 jueces no entrenados considerando los criterios de inclusión correspondientes a: sexo (30 mujeres y 20 hombres), grado escolar y lugar de estudio (estudiantes de licenciatura en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,

Puebla, México), edad (en promedio de 20 años) que consumen sushi con frecuencia (más de una vez por semana).

Por otra parte, los criterios de exclusión correspondieron a estudiantes que no les gusta el sushi, y estudiantes que no consumen sushi con frecuencia. Se evaluó olor, sabor, textura y aceptación general del sushi por medio de una escala hedónica de 7 puntos, donde 1 significa no me gusta mucho a 7 que significa me gusta mucho.

7.13 Análisis estadístico

La formulación de las películas comestibles bicapa se realizó por triplicado y cada determinación se hizo por duplicado. Para realizar el análisis de datos se utilizó el software Minitab 2015, con análisis de varianza con un nivel de confianza de $\alpha=0.05$, utilizando pruebas de comparación estadística de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Evaluación de la caracterización bromatológica y de compuestos bioactivos del mango (*Mangifera indica* L.) y almidón de papa en polvo.

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos del mango (*Mangifera indica* L.) en polvo, se puede observar que el porcentaje de humedad disminuyó considerablemente (18.41 %), de acuerdo con lo reportado por Tharanathan *et al.* (2006) con un porcentaje de 82.8 %, esto se debe a que el mango contine un alto porcentaje de humedad. El porcentaje de cenizas que se obtuvo fue de 0.59 % similar a lo reportado por Tharanathan *et al.* (2006) de 0.52 %, cabe resaltar que el resultado obtenido de cenizas fue por cada gramo en promedio y la diferencia entre ambos porcentajes, aunque es pequeña se debe a que la ceniza depende de las condiciones de cosecha, ya que intervienen diversos factores, como son: condiciones climatológicas, cantidad de agua que fue suministrada a lo largo de la cosecha, tipo de suelo, etc.

Por otro lado, los compuestos fenólicos aportan diversas propiedades benéficas, por lo que son una buena opción para anular el daño oxidativo, y con ello disminuir enfermedades asociadas a este (Araújo *et al.*, 2014), en el mango en polvo se observa un alto contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, Fernández *et al.* (2016) reportó en base húmeda el contenido de compuestos fenólicos totales de 33.61 ± 0.99 (mg EAG/100 g), Siddiq *et al.* (2013) reportó valores de 21.16 (mg EAG/100 g), Palafox *et al.* (2012) reportó valores promedio de 174 (mg EAG/100 g), con diferencia en el resultado obtenido de 7876.11 ± 192.88 (mg EAG/100 g) en promedio. Probablemente el mayor número de compuestos fenólicos en mango en polvo es debido a la base en la cual se realizaron los cálculos (base seca y base húmeda), así como al estado de madurez, condiciones de cosecha, además puede deberse a la metodología utilizada en ambos estudios, así como la cantidad de muestra tomada.

La presencia de compuestos fenólicos da capacidad antioxidante, Ma *et al.* (2011) reportó capacidad antioxidante equivalente en pulpa de mango con un valor de 4505.4 (mg Trolox/100g), valores muy similares a los obtenidos en este estudio (4474.52 ± 77.03 mg

Trolox/100g), las variaciones en la cuantificación podrían deberse a los diferentes factores mencionados anteriormente para los compuestos fenólicos (Carvajal *et al.*, 2011).

Tabla 11. Humedad, cenizas, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de mango (*Mangifera indica* L.) deshidratado.

Parámetro	Valores (%)
Humedad (%)	18.41 ± 1.11
Cenizas (%bs)	0.59 ± 0.44
Compuestos fenólicos (mg EAG/100 g)	7876.11 ± 192.88
Capacidad antioxidante (mg Trolox/100g)	4474.52 ± 77.03

8.2 Elaboración de películas comestibles bicapa

En la Figura 5 se presenta la imagen de las películas comestibles bicapa elaboradas con los diferentes sistemas mostrados en el apartado 7.3. Se observa que las películas (3) y (7) elaboradas con almidón de papa y suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus*, presentaron una coloración blanquecina debido a la ausencia de los pigmentos presentes en el mango. Sin embargo, las películas (1, 2, 5 y 6) presentaron un color uniforme y una apariencia flexible; las películas (1) y (5) no se vieron afectadas por la inoculación de *Lactobacillus rhamnosus*, mientras que las películas (2) y (6) fungieron como controles, ya que no se les añadió *Lactobacillus rhamnosus*. Por otra parte, las películas que mostraron mayor transparencia fueron las películas (4) y (8), elaboradas con almidón de papa, *Lactobacillus rhamnosus* y mango.

Es importante mencionar que el uso del glicerol como plastificante en todas las películas comestibles proporciona buena flexibilidad en las películas, no reduce su resistencia a la tracción, además de su alta disponibilidad y compatibilidad con diversos materiales (Domínguez y Jiménez., 2012). De acuerdo con (Escobar *et al.*, 2009) las películas que

se elaboran con proteína de suero presentan excelentes barreras al oxígeno y combinado con un plastificante mejora considerablemente sus propiedades mecánicas.

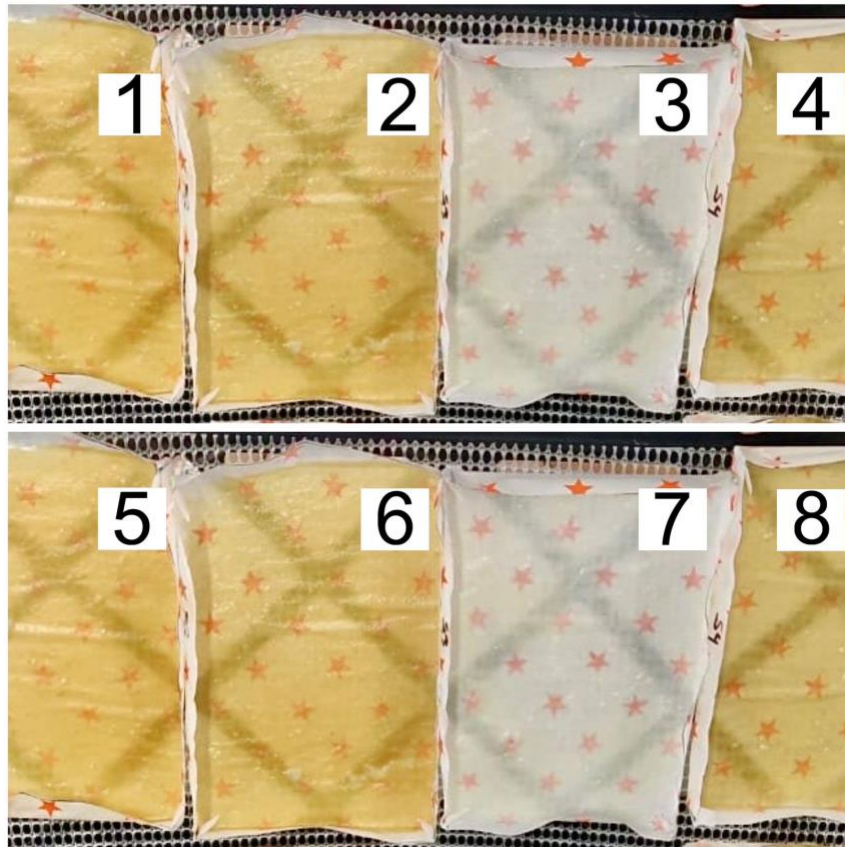


Figura 5. Películas comestibles bicapa elaboradas con almidón de papa, suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* y mango (1 y 5). Película con almidón de papa, suero de leche y mango (2 y 6). Película con almidón de papa y suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* (3 y 7). Película con almidón de papa, *Lactobacillus rhamnosus*, y mango (4 y 8).

8.3 Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles bicapa formuladas

Parámetros como la humedad, el espesor, permeabilidad al vapor de agua, y propiedades mecánicas como alargamiento a la rotura y resistencia a la tracción permiten establecer la película comestible adecuada a utilizar dependiendo de los requerimientos

de conservación del alimento, estos parámetros se evaluaron en las 8 formulaciones de películas comestibles bicapa cuyos principales componentes utilizados son: carbohidratos (almidón de papa y mango), proteínas (suero de leche) y probióticos (*Lactobacillus rhamnosus*), compuestos que al combinarlos aportan características exclusivas a estas películas.

En la Tabla 12 se presentan los resultados de las diferentes propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles bicapas. El contenido de humedad al inicio del almacenamiento en todas las películas comestibles se encuentra en un rango de 23.87 a 29.18%, (no existe diferencia significativa entre las formulaciones). Después de 28 días de almacenamiento se observa una disminución del contenido de humedad de 13.38 a 21.90%, sin embargo, esta disminución no es significativa ($p < 0.05$) con respecto al tiempo de almacenamiento y entre formulaciones. Homez *et al.* (2018) reportó valores de humedad (7.73 - 31.3 %) similares a los obtenidos en este estudio después de 28 días de almacenamiento en películas comestibles de quitosano. Esta evaluación es de gran importancia ya que el porcentaje de humedad puede afectar las propiedades físicas y de barrera de la película comestible (Kowalczyk *et al.*, 2015).

Por otra parte, el espesor de las películas comestibles bicapa disminuyó durante el almacenamiento de manera significativa ($p < 0.05$), sin depender de la temperatura de este. Esta disminución se puede deber a que todas las películas tuvieron una expansión en sus dimensiones perimetrales, lo cual disminuyó su volumen, lo que genera una disminución en los valores del espesor (Ibargüen *et al.*, 2015), de igual forma la reducción en el espesor se debe a que los componentes de la película comestible tienen una debilidad en las repulsiones electrostáticas y con el paso del tiempo en el almacenamiento, estas van siendo cada vez mayores lo que causa la formación de agregados y compactación de la película (Ramos *et al.*, 2012). Cabe destacar que es de suma importancia determinar el espesor en las películas, ya que al ser películas hidrofílicas existe una relación dependiente en su capacidad de permeabilidad al vapor de agua y la transferencia de masa, esto nos permite observar que un espesor adecuado garantiza que la película tenga las propiedades deseadas para uso, como textura,

flexibilidad, resistencia y capacidad para proteger los alimentos o como material de empaque (Anchundia *et al.*, 2016).

Por otra parte, la permeabilidad al vapor de agua fue afectada por la temperatura de almacenamiento ($p < 0.05$). Esta reducción es deseable y significa que el alimento envuelto o recubierto podría perder menos peso debido a la deshidratación, lo que contribuye a conservar sus propiedades originales durante más tiempo, es decir que, las películas con menor permeabilidad al vapor de agua se consideran mejor opción para prolongar la textura y vida útil de los alimentos manteniendo las características del producto por más tiempo (Anchundia *et al.*, 2016). El alargamiento a la rotura se redujo después de 28 días de almacenamiento, lo que puede deberse al tipo de almidón utilizado, en este caso almidón de papa, ya que permitió que la película no se dispersara, y estuviera estable. La resistencia a la tracción aumentó durante el almacenamiento siendo más evidente en las películas comestibles con suero sin fermentar y mango en polvo, lo que se interpreta como que *Lactobacillus rhamnosus* ayudó a mantener las propiedades mecánicas de las películas comestibles.

Tabla 12. Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles bicapa formuladas al inicio y después de 28 días de almacenamiento.

Sistema	Humedad (%)		Espesor (mm)		Permeabilidad al valor de agua ($\times 10^{10}$) (gm/sm^2Pa)		Porcentaje de elongación (%)		Resistencia a la tracción (MPa)	
	0 d	28 d	0 d	28 d	0 d	28 d	0 d	28 d	0 d	28 d
1	25.33 \pm 1.65 aA	21.90 \pm 3.88 aA	0.62 \pm 0.02 aA	0.47 \pm 0.01 bB	5.03 \pm 0.25 aA	0.86 \pm 0.22 bB	25.43 \pm 8.04 aAB	13.66 \pm 2.83 aA	1.27 \pm 0.01 aA	1.45 \pm 0.12 aA
2	28.04 \pm 4.94 aA	20.11 \pm 7.26 aA	0.66 \pm 0.01 aA	0.43 \pm 0.02 bB	2.82 \pm 0.09 aA	0.92 \pm 0.38 bB	42.36 \pm 0.34 aA	14.72 \pm 1.12 bA	0.91 \pm 0.08 aB	1.46 \pm 0.09 bA
3	26.73 \pm 7.29 aA	13.38 \pm 6.07 aA	0.35 \pm 0.01 aD	0.32 \pm 0.01 bC	2.46 \pm 0.56 aA	0.66 \pm 0.25 aB	33.47 \pm 6.28 aAB	23.44 \pm 5.60 aA	0.38 \pm 0.07 aC	0.84 \pm 0.06 bB
4	29.18 \pm 5.80 aA	18.67 \pm 1.54 aA	0.45 \pm 0.03 aC	0.46 \pm 0.03 aB	3.83 \pm 0.27 aA	1.46 \pm 0.59 bB	19.49 \pm 2.02 aB	17.53 \pm 8.18 aA	1.23 \pm 0.08 aA	0.95 \pm 0.21 aB
5	23.87 \pm 3.38 aA	18.75 \pm 2.71 aA	0.63 \pm 0.01 aA	0.51 \pm 0.02 bA	5.78 \pm 4.65 aA	7.22 \pm 1.51 aA	19.20 \pm 6.46 aA	27.19 \pm 1.92 aA	1.01 \pm 0.10 aAB	1.14 \pm 0.01 aAB
6	26.80 \pm 3.02 aA	21.67 \pm 4.61 aA	0.64 \pm 0.01 aA	0.54 \pm 0.02 bA	0.36 \pm 0.45 aA	5.90 \pm 2.10 aAB	40.00 \pm 4.04 aA	16.27 \pm 1.52 bA	0.81 \pm 0.04 aB	1.35 \pm 0.07 bA
7	27.76 \pm 8.94 aA	17.49 \pm 0.37 aA	0.46 \pm 0.03 aC	0.32 \pm 0.01 bC	6.46 \pm 1.40 aA	6.31 \pm 1.86 aAB	41.60 \pm 1.78 aA	28.55 \pm 7.25 aA	0.37 \pm 0.07 aC	0.58 \pm 0.06 aC
8	25.47 \pm 4.32 aA	20.78 \pm 2.11 aA	0.54 \pm 0.01 aB	0.42 \pm 0.02 bB	1.23 \pm 0.79 aA	7.26 \pm 2.25 aA	22.40 \pm 7.43 aAB	26.06 \pm 6.14 aA	0.70 \pm 0.12 aB	0.81 \pm 0.01 aB

Media \pm desviación estándar. Las letras a y b dentro de la misma línea para una misma característica indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Las letras A, B, C, ... dentro de una misma columna para los diferentes sistemas indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

En la Tabla 13 se presentan los diferentes parámetros de color de las películas comestibles bicapa, en la cual podemos apreciar que las películas que contienen mango en polvo, es decir las películas 1, 2, 4, 5, 6, y 8 obtuvieron parámetros de color en un rango de $L^* = 67.51$ a 76.17 $a^* = -2.50$ a 0.65 y $b^* = 36.94$ a 50.46 , lo que nos indica un tono claro medio de amarillo a un tono de amarillo estándar, mostrado por la presencia de carotenoides en el mango, siendo este color muy importante en las películas formadas, ya que el consumidor asocia estos colores con la calidad del producto, en este caso la calidad sensorial de sabor dulce y aroma característico que se presenta en el fruto maduro, que se espera también en las películas comestibles bicapa. Torres *et al.* (2018) reportó valores similares en los parámetros de color en un rango de $L^* = 73.11$ a 72.29 $a^* = 10.39$ a 10.32 y $b^* = 53.13$ a 48.34 , en películas comestibles a base de polvo de subproductos de mango, donde la variación en los parámetros de color se puede deber a los diferentes compuestos fenólicos que existen en ambas formulaciones, ya que la adición de compuestos fenólicos disminuye la transmisión de la luz. Por otra parte, las películas comestibles sin mango, es decir las películas 3 y 7 obtuvieron parámetros de color en un rango de $L^* = 88.97$ a 90.34 $a^* = 0.99$ a 1.45 y $b^* = 11.35$ a 12.06 , lo que nos indica un tono claro de color marrón y este color se dio por el suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* y almidón de papa.

También se puede observar que el tiempo de almacenamiento en las películas comestibles afectó significativamente ($p < 0.05$), siendo más evidente en las películas elaboradas con mango, ya que con el paso del tiempo mostraron pardeamiento probablemente debido a la actividad de la enzima polifenol oxidasa, mientras que las películas 3 y 7 presentaron un menor cambio de color.

8.4 Evaluación de color de películas comestibles bicapa

Tabla 13. Parámetros de color en películas comestibles bicapa formuladas al inicio y después de 28 días de almacenamiento

Sistema	L^*		a^*		b^*		ΔE
	0d	28d	0d	28d	0d	28d	28d
1	72.04±1.16 aC	66.92±0.18 Bd	-2.28±0.51 bB	3.43±0.85 aA	49.03±1.22 aA	27.88±2.34 bAB	22.50±1.54 AB
2	69.97±0.96 aC	67.16±0.27 Bd	-1.38±0.51 bB	4.45±0.34 aA	48.10±1.31 aA	31.69±0.38 bA	17.65±1.16 BC
3	88.97±0.54 aA	84.06±0.48 bA	1.45±0.29 bA	3.32±0.84 aA	12.06±0.60 aC	8.39±1.12 bD	6.41±0.76 D
4	76.17±0.66 aB	72.04±0.11 Bb	-1.17±0.42 bB	4.06±1.74 aA	36.94±3.69 aB	16.06±1.85 bCD	21.93±2.35 AB
5	67.51±0.85 aD	66.04±0.45 Ad	0.65±1.05 bA	6.57±2.43 aA	50.46±1.63 aA	22.90±3.03 bBC	28.23±2.01 A
6	72.28±0.35 aC	68.48±0.29 Bc	-1.76±0.08 bB	2.57±2.43 aA	47.00±0.63 aA	28.59±5.94 bAB	19.29±5.80 BC
7	90.34±0.62 aA	83.16±0.41 bA	0.99±0.12 aA	3.39±1.60 aA	11.35±0.52 aC	9.83±0.79 aD	7.72±1.52 D
8	72.84±1.17 aC	66.97±1.67 bD	-2.50±0.21 aB	4.03±3.34 aA	44.04±2.77 aA	34.47±2.08 bA	12.99±3.24 CD

Media ± desviación estándar. Las letras a y b dentro de la misma línea para una misma característica indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Las letras A, B, C, ... dentro de una misma columna para los diferentes sistemas indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

8.5 Evaluación de compuestos bioactivos de películas comestibles bicapa

En la Figura 6 se observa que la capacidad antioxidante de las películas comestibles bicapa presentó una disminución ($p < 0.05$) al término del almacenamiento en todas las películas, siendo en particular las películas (1, 2, 4, 5, 6, y 8) las que presentaron una mayor capacidad antioxidante, esto debido a que en ellas se agregó pulpa de mango en polvo, en comparación con las películas 3 y 7, sin importar la temperatura de almacenamiento 4 y 20 °C. La mayoría de los antioxidantes presentes en las frutas presentan la capacidad de ser solubles en agua, y estables a temperatura ambiente. Sin embargo, durante la maduración del fruto y su procesamiento como corte, trituración y picado, estos compuestos pueden sufrir cambios, debido a que estos antioxidantes presentes en la estructura celular del fruto se liberan y degradan al romperse las células y entrar en contacto con el aire (Agostini *et al.*, 2004).

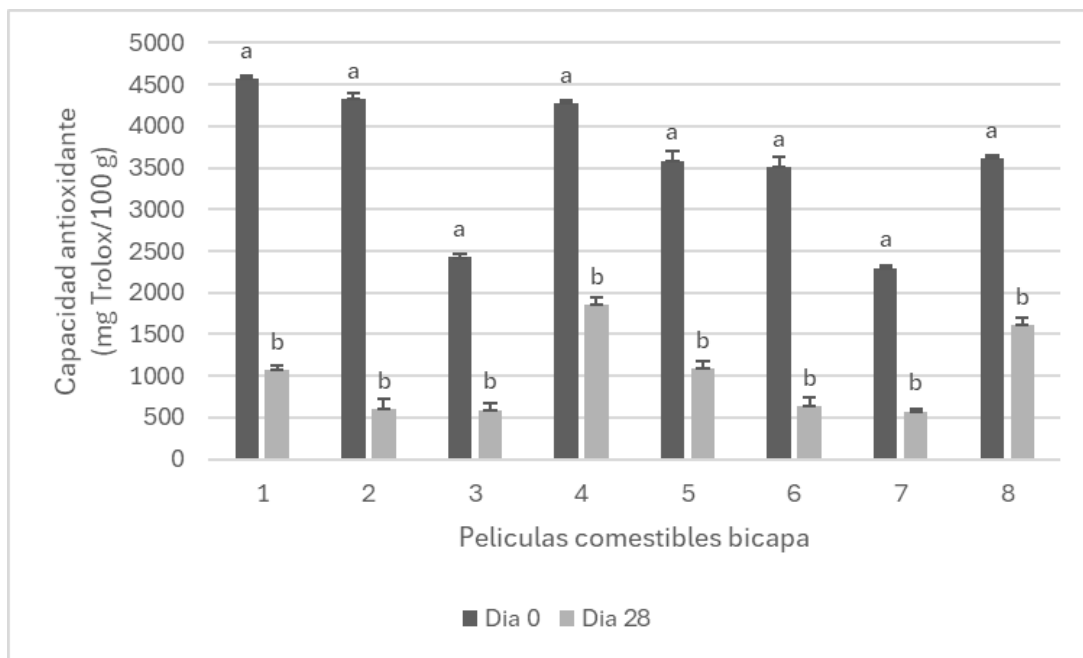


Figura 6. Evaluación de la capacidad antioxidante en películas comestibles bicapa. Las columnas negras representan los valores al inicio del almacenamiento (día 0), las columnas grises representan los valores al término del almacenamiento (día 28). Las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes (a y b) en cada película

comestible bicapa indican diferencias significativas ($p < 0.05$) al inicio y término del almacenamiento.

Por otra parte, en la Figura 7 se observa que los compuestos fenólicos totales se encuentran en un rango de 95.87 – 107.67 (mg EAG/100 g), estos compuestos permanecieron constantes, sin embargo se puede observar que en la película comestible bicapa (sistema 5) formulada con almidón de papa, suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* y mango, almacenada a 4 °C, los compuestos fenólicos presentaron una reducción significativa ($p < 0.05$), en esta misma película también se presentó el mayor cambio de color, lo que pudo deberse a la enzima polifenol oxidasa, responsable en la afectación de los compuestos fenólicos totales así como en el color de los alimentos de origen vegetal.

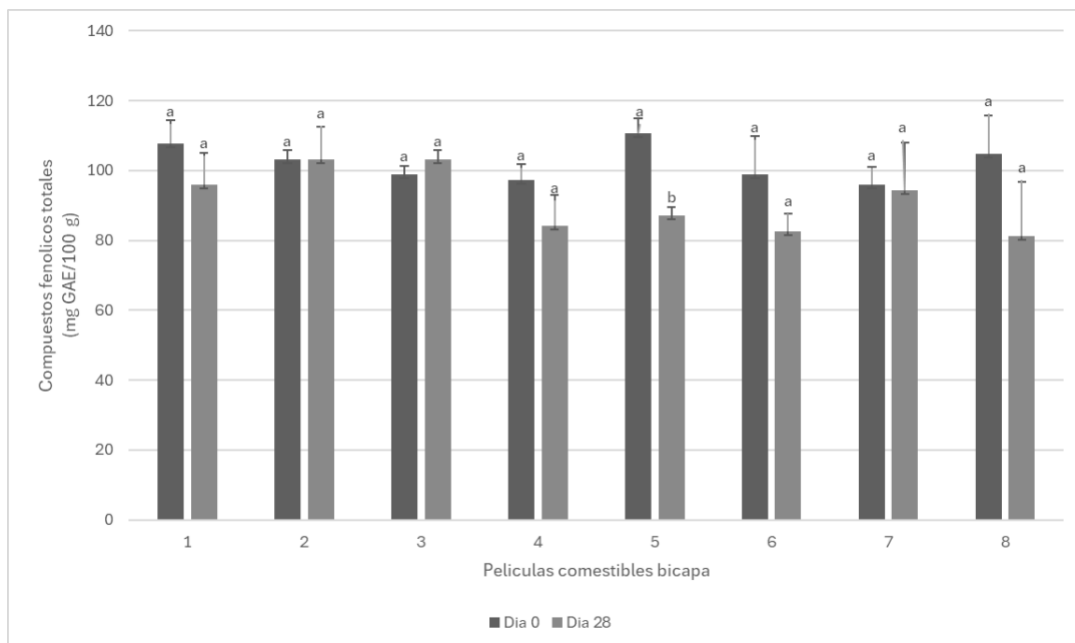


Figura 7. Evaluación de los compuestos fenólicos totales en películas comestibles bicapa. Las columnas negras representan los valores al inicio del almacenamiento (día 0), las columnas grises representan los valores al término del almacenamiento (día 28). Las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes (a y b) en cada película

comestible bicapa indican diferencias significativas ($p < 0.05$) al inicio y término del almacenamiento.

8.6 Evaluación de bacterias ácido-lácticas de películas comestibles bicapa

La Figura 8 muestra la viabilidad de las BAL en las películas comestibles bicapa a lo largo del almacenamiento, se observa que las películas comestibles tuvieron diferentes comportamientos, las películas 4 y 8 fueron las que más redujeron su carga microbiana, lo que puede deberse a que al estar formuladas a base de *Lactobacillus rhamnosus* y mango, sin suero de leche, éste pudo ser un factor determinante ya que *Lactobacillus rhamnosus* al ser una bacteria productora de ácido láctico que es una sustancia derivada de los azúcares de la leche, necesitan azúcares (lactosa) para su crecimiento. También se puede observar que las películas sin suero de leche independientemente de la temperatura de almacenamiento no contuvieron BAL al término de este. Sin embargo, las películas 3 y 7 formuladas con suero de leche fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* mostraron la menor disminución microbiana, mostraron un recuento microbiano mayor a 6 ciclos logarítmicos. Champagne *et al.* (2011) menciona que para que los probióticos confieran un efecto beneficioso en la salud de quien los consume el probiótico debería contener en promedio $10^6 - 10^8$ UFC/mL o g.

Por otra parte, el sistema 5 se mantuvo más estable en la población microbiana a diferencia del sistema 1, debido a que la temperatura de almacenamiento y el tiempo afectaron significativamente esta carga. Tonon *et al.* (2009) menciona que, para tener mayor estabilidad en películas comestibles, es importante que los polvos tengan valores bajos de humedad en las formulaciones, ya que, al tener menor cantidad de agua libre, ocasionan menores reacciones bioquímicas, y gracias a esto se puede mantener la supervivencia de microorganismos.

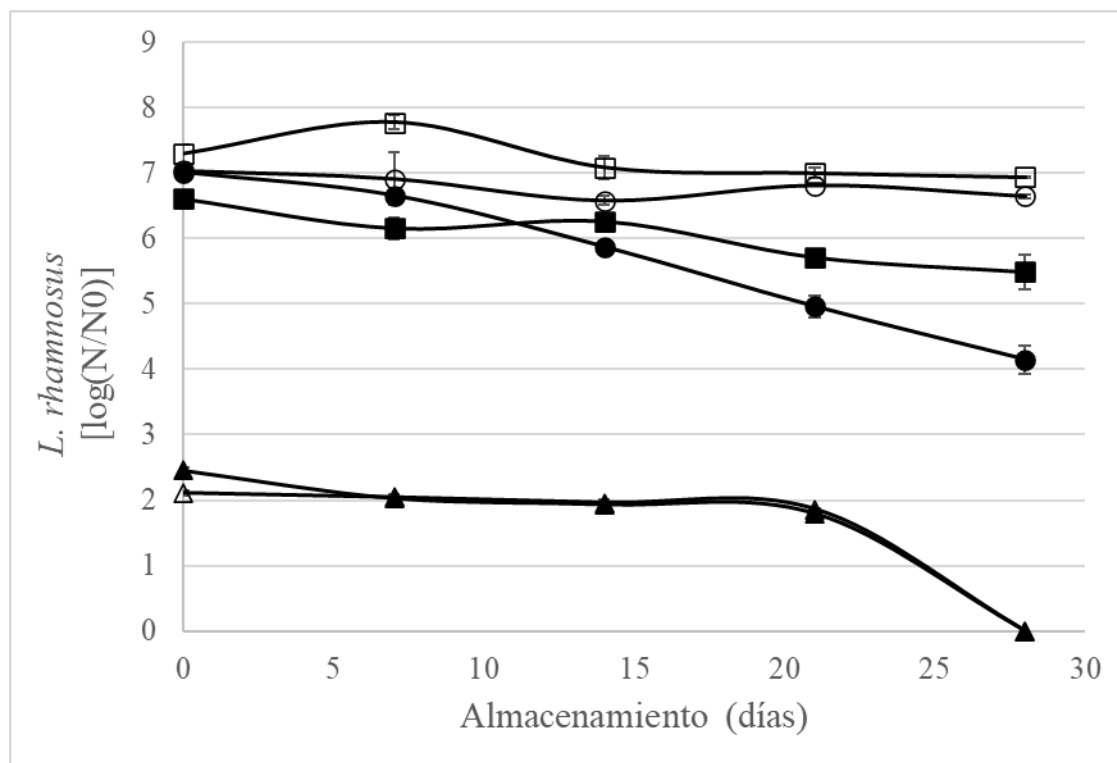


Figura 8. Cuenta de microorganismos probióticos durante el almacenamiento de las películas comestibles bicapa. Sistemas 1 y 5 almacenados a 4°C (○) y 20°C (●). Sistemas 3 y 7 almacenados a 4°C (□) y 20°C (■). Sistemas 4 y 8 almacenados a 4°C (△) y 20°C (▲).

Evaluación de los compuestos fenólicos totales en películas comestibles bicapa. Las columnas negras representan los valores al inicio del almacenamiento (día 0), las columnas grises representan los valores al término del almacenamiento (día 28). Las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes (a y b) en cada película comestible bicapa indican diferencias significativas ($p < 0.05$) al inicio y término del almacenamiento.

8.7 Evaluación de la aceptación sensorial de películas comestibles bicapa

En la Figura 9 se observa la aplicación de la película comestible bicapa (sistema 5) formulada con almidón de papa, suero fermentado con *L. rhamnosus* y mango, almacenada a 4 °C, la cual se utilizó para cubrir el sushi. La selección de esta película fue ya que, a diferencia de los resultados obtenidos en las demás películas, la capacidad antioxidante, así como la supervivencia de probióticos fue mayor al término del almacenamiento.



Figura 9. Aplicación de la película comestible bicapa en sushi.

En la Figura 10 se puede observar que el sushi cubierto con la película comestible bicapa mostró una buena aceptación por los consumidores, mostrando respuestas entre me gusta y me gusta mucho, siendo el sabor, la característica sensorial más aceptada, esto se puede atribuir a la combinación del sabor dulce y al mismo tiempo ácido presente en el mango, con la cremosidad y frescura de los demás ingredientes presentes en el sushi como lo son el queso crema y pepino.

Siendo de igual importancia la aceptación en la textura, ya que los consumidores no detectaron un espesor desagradable, que estuviera fuera de lo que están acostumbrados a comer, como lo es el alga nori, para la aplicación de películas comestibles en diversos

alimentos es necesario que éstas contengan el menor sabor posible o bien tengan un sabor compatible con el alimento al cual se está aplicando (Labuza y Contreras, 1981). Una de las principales características de la aplicación de películas comestibles es la capacidad de éstas para actuar como un conjunto con el alimento para mejorar su calidad, así como su tiempo de vida útil (Kester y Fennema 1986).

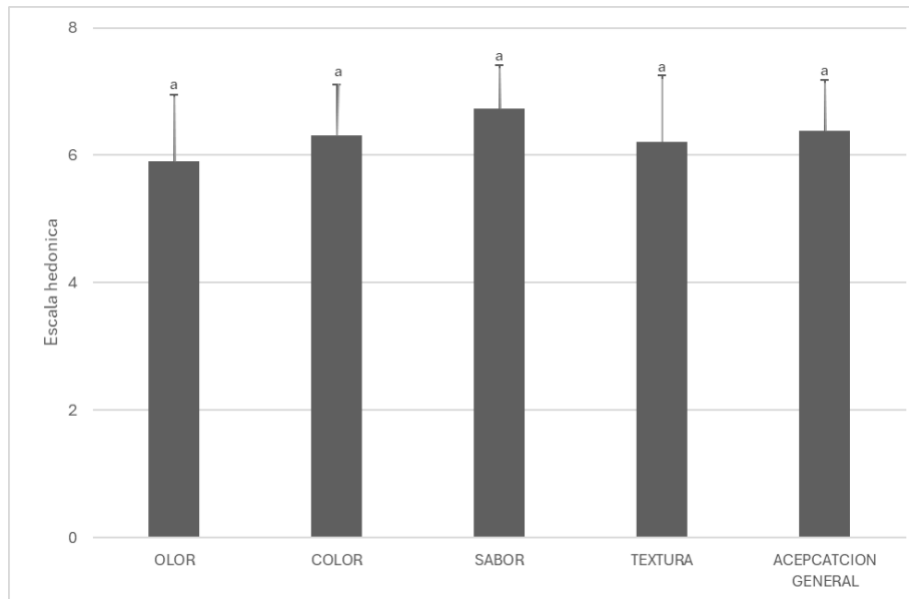


Figura 10. Evaluación sensorial de la película comestible bicapa aplicada en sushi.

CONCLUSIONES

- Se logró el desarrollo y aplicación de las películas comestibles bicapa con una capa primaria basada en almidón de papa y glicerol y una capa secundaria a base de suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus*, mango en polvo y glicerol.
- Las películas comestibles bicapa formuladas tienen una adecuada flexibilidad, son homogéneas y de fácil manipulación.
- La adición de mango en polvo en las películas incrementó el color amarillo gracias a la presencia de carotenoides en el mango, así como también incrementó la capacidad antioxidante.
- La adición de mango en polvo no afectó la humedad, permeabilidad al vapor de agua, alargamiento a la rotura, ni resistencia a la tracción en las películas comestibles bicapa; sin embargo, después de 28 días de almacenamiento se presentó pardeamiento en todas las películas comestibles.
- Las películas 3 y 7 formuladas con suero de leche fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* fueron las que presentaron la menor disminución microbiana, pues la población de *Lactobacillus rhamnosus* se mantuvo por arriba de 6 ciclos logarítmicos.
- Se determinó después de las pruebas realizadas que la película comestible bicapa (sistema 5) formulada con almidón de papa, suero fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* almacenada a 4°C fue la mejor película comestible para aplicarla en sushi, debido a que esta contenía una mayor capacidad antioxidante, y supervivencia probiótica durante el almacenamiento, además de ser la que obtuvo una mejor capacidad de manipulación.
- La aplicación de las películas comestibles bicapa en sushi generó una buena aceptación por los consumidores en características como olor, color, sabor, textura y aceptación en general, demostrando en la evaluación sensorial respuestas favorables, principalmente debido al sabor agradable, lo cual fue fundamental pues se agregaron compuestos que promueven la salud, en este sushi.

RECOMENDACIONES

- Evaluar otras formas de aplicación de la película comestible bicapa para determinar su aceptación sensorial.
- Determinar la actividad de la enzima polifenol oxidasa para evitar en la medida de lo posible el pardeamiento provocado en las películas comestibles.
- Considerar el uso de otros aditivos por ejemplo glutamina, la cual potenciaría el sabor en las películas comestibles.
- Implementar el uso de frutas de temporada en películas comestibles, para evitar la pérdida post cosecha de estas.

REFERENCIAS

- Agostini, L., Morón, M., Ramón, A., y Ayala, A. (2004). Determinación de la capacidad antioxidante de flavonoides en frutas y verduras frescas y tratadas térmicamente. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 54(1), 89-92.
- Alfano, A., Donnarumma, G., Cimini, D., Fusco, A., Marzaioli, I., De Rosa, M., y Schiraldi, C. (2015). Lactobacillus plantarum: microfiltration experiments for the production of probiotic biomass to be used in food and nutraceutical preparations. *Biotechnology Progress*, 31(2), 325-333.
- Alva, C., Ramírez, C., y Jara, R. (2015). Visión computacional en la evaluación del efecto de la temperatura y tiempo de fritura sobre el color de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) nativa. *Agroindustrial Science*, 5(2), 153-160.
- Anchundia, K., Santacruz, S., y Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista chilena de nutrición*, 43(4), 394-399.
- Andrade Ch., Acosta A., Bucheli J., y Luna C. (2014). Preparation and evaluation of an edible coating for tomato tree *Cyphomandra betacea* cav. Sendt post-harvest conse. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 30(2), 60–72. Retrieved from <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1675>.
- Araújo, K., Magnani, M., Nascimento, J., Souza, A., Epaminondas, P., Souza, A., Neide, Q., y Souza, A. (2014). Antioxidant activity of co-products from guava, mango and barbados cherry produced in the Brazilian Northeast. *Molecules*, 19(3), 3110-3119.
- Arcila, A., Castillo, G., Pérez, L., Abaunza, C., Yacomelo, M., y León, R. (2022). Modelo productivo de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.) para el departamento del Magdalena. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia*.
- Arvanitoyannis, IS y Kassaveti, A. (2009). Mezclas de almidón y celulosa. *Mezclas y compuestos de polímeros biodegradables a partir de recursos renovables* (págs. 19–53). Nueva York: Wiley
- Atarés, L., Bonilla, J., y Chiralt, A. (2010). Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 678-687.

- Avila, R., Palou, E., Munguía, M., Nevárez, G. , Cruz, A., y López, A. (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International journal of food microbiology*, 153(1-2), 66-72.
- Bally, I. (2006). *Mangifera indica* (mango). Species profiles for pacific island agroforestry, 1-25.
- Barbosa, C., Ponce de León, L., y Pelayo, C. (2009). Morpho-histology of ‘Manila’ and ‘Haden’ fruit development. A comparative study with postharvest implications.. *Acta Horticulturae* , (820), 281-288.
- Baysal, T., Bilek, S., y Apaydin, E. (2010). The effect of corn zein edible film coating on intermediate moisture apricot (*Prunus Armenica L.*) quality. *Gida*, 35(4), 245-249.
- Bertoft, E., y Blennow, A. (2016). Structure of potato starch. En J. Singh y L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology*. 57–73. Elsevier Inc.
- Betancourt, C., Mello, R., Castellanos, L., y Silva, C. (2016). Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *Cultivos tropicales*, 37(3), 7-14.
- Blennow, A., Bay, A., Leonhardt, P., Bandsholm, O., y Madsen, M. (2003). Starch paste stickiness is a relevant native starch selection criterion for wet-end paper manufacturing. *Starch-Stärke*, 55(9), 381-389.
- Bourtoom, T. (2009). Edible protein films: properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16(1), 1-9.
- Brown, B. (1985). Temperature management and chilling injury of tropical and subtropical fruit. In *Symposium on Physiology of Productivity of Subtropical and Tropical Tree Fruits* 175 (pp. 339-342).
- Caballero, P., Parez, M., Rodriguez, B., y Parrado, J. (2015). Lactic acid bacteria from fermented whey as a biocontrol tool against phytopathogenic microorganisms. *Fermentation Technology*, 3 (2), 82-82.
- Campos, C., Gerschenson, L., y Flores, S. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and bioprocess technology*, 4, 849-875.

- Carmona, J., Cordobés, F., Guerrero, A., Martínez, I., y Partal, P. (2007). Influencia del pH y de la fuerza iónica sobre la gelificación térmica de proteínas de la yema de huevo. *Grasas y Aceites*, 58 (3), 289-296.
- Carvajal, L., Turbay, S., Rojano, B., Álvarez, L., Luz, S., Álvarez, J., Bonilla, K., Ochoa, C., y Sánchez, N. (2011). Algunas especies de *Passiflora* y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(4), 354-363.
- Carvalho, A. (2008). Starch: major sources, properties and applications as thermoplastic materials. *Monomers, polymers and composites from renewable resources*, 321-342.
- Champagne, C., Ross, R., Saarela, M., Hansen, K., y Charalampopoulos, D. (2011). Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices. *International journal of food microbiology*, 149(3), 185-193.
- Chiralt, A. (2014). Materiales biodegradables para el envasado activo de alimentos a base de almidón. In *Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA* (Vol. 9, No. 1, pp. 27-36).
- Cho, S., Park, J. W., Batt, H. P., y Thomas, R. L. (2007). Edible films made from membrane processed soy protein concentrates. *LWT-Food Science and Technology*, 40(3), 418-423.
- CONASPROMANGO. (2012). Plan Rector Nacional del Sistema Producto Mango. *Recuperado de: www.mangomexicano.com.mx*.
- Corrales, A., Maldonado, M., Urango, L., Franco, M., y Rojano, B. (2014). Mango de azúcar (*Mangifera indica*), variedad de Colombia: características antioxidantes, nutricionales y sensoriales. *Revista chilena de nutrición*, 41(3), 312-318.
- Cruz, J., Soares, C., Fabbri, A., Cordenunsi, B., & Sabato, S. (2012). Effect of quarantine treatments on the carbohydrate and organic acid content of mangoes (cv. *Tommy Atkins*). *Radiation Physics and Chemistry*, 81(8), 1059-1063.
- Díaz, R., Chiralt, A., y Moreno, O. (2015). Films biodegradables antimicrobianos a base de almidón y gelatina. *Máster en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos*. *Universidad Politécnica de Valencia*, 21.

- Domínguez, M., y Jiménez, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 110-121.
- Dronkers, T., Ouwehand, A., & Rijkers, G. (2020). Global analysis of clinical trials with probiotics. *Heliyon*, 6(7).
- Esnoval, C., Ruiz, R., Hernández, R., de la Torre, J., y de Jesús, A. (2017). Uso, producción y calidad nutricional del lactosuero en la región central de Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 21(1), 65-75.
- Fabra, M., Busolo, M., Lopez, A., y Lagaron, J. (2013). Nanostructured biolayers in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 31(1), 79-87.
- Falguera, V., Quintero, J, Jiménez, A., Muñoz, J, y Ibarz, A. (2011). Películas y recubrimientos comestibles: estructuras, funciones activas y tendencias en su uso. *Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos* , 22 (6), 292-303.
- Famáa, L., Rojasb, A. M., Goyanesa, S., & Gerschensonb, L. (2003). Películas comestibles de aplicación industrial. *Trabajo*, 10(5).
- Fernández, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., García, A., y Falcón, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.
- Fernández, V., Hernández, J., y Sulbarán, S. (2016). Caracterización físico-química y actividad antioxidante de frutos de mango (*Mangifera indica*) cv. Tommy Atkins. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 33, 216-231.
- Garcia, M., Ferrero, C., Bertola, N., Martino, M., y Zaritzky, N. (2002). Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(4), 391-397
- Gerbino, E., Mobili, P., Tymczynszyn, E., Fausto, R., y Gómez, A. (2014). FTIR spectroscopy structural analysis of the interaction between *Lactobacillus kefir* S-layers and metal ions. *Journal of Molecular Structure*, 987(1-3), 186-192.
- Glicksman, M. (1982). *Food Hydrocolloids*. New York: Boca Raton: CRC Press. Vol. 1, 219 p.

- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J., y Guilbert, S. (1994). Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International journal of food science & technology*, 29(1), 39-50.
- Greis, M., Sainio, T., Katina, K., Kinchla, A. J., Nolden, A., Partanen, R., y Seppä, L. (2020). Dynamic texture perception in plant-based yogurt alternatives: Identifying temporal drivers of liking by TDS. *Food Quality and Preference*, 86, 104019.
- Hernández, M., y Vélez, J. (2014). Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(2), 13-22.
- Hernández, P., Ávila, R., Guerrero, J., Navarro, A., Corona, E., & Ochoa, C. (2016). Optimization of antioxidant compounds extraction from fruit by-products: Apple pomace, orange and banana peel. *Journal of food processing and preservation*, 40(1), 103-115.
- Homez, A., Daza, L., Aguirre, D., Muñoz, J., Solanilla, J., y Váquiro, H. (2018). Characterization of chitosan edible films obtained with various polymer concentrations and drying temperatures. *International journal of biological macromolecules*, 113, 1233-1240.
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate polymers*, 45(3), 253-267.
- Huff, K. (2008). Active and intelligent packaging: innovations for the future. *Department of Food Science & Technology. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va*, 1-13.
- Ibargüen, Á., Magda Pinzón, F., y Arias, L. (2015). Elaboración y caracterización de películas comestibles a base del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller L.*). *Alimentos hoy*, 23(36), 133-149.
- Janes, M., y Dai, Y. (2012). Edible films for meat, poultry and seafood. In *Advances in meat, poultry and seafood packaging* (pp. 504-521). Woodhead Publishing.
- Janjarasskul, T., y Krochta, J. (2010). Edible packaging materials. *Annual review of food science and technology*, 1, 415-448.
- Jimenez, A., Fabra, M., Talens, P., y Chiralt, A. (2012). Edible and biodegradable starch films: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2058-2076.

- Jiménez, A., Fabra, MJ, Talens, P. y Chiralt, A. (2012). Efecto de la recristalización sobre las propiedades de tracción, ópticas y de barrera al vapor de agua de películas de almidón de maíz que contienen ácidos grasos. *Hidrocoloides alimentarios* , 26 (1), 302-310.
- Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., y Tanaka, M. (2008). Antioxidative activity and properties of fish skin gelatin films incorporated with BHT and α -tocopherol. *Food Hydrocolloids*, 22(3), 449-458.
- Kester, J., y Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food technology (USA)*, 40(12).
- Khan, M., & Khan, M. (1989). Alkyl gallates of flowers of *Mangifera indica*.
- Kim, H., Kim, G., Lee, J., Park, S., Jeong, W., Kim, Y., y Shin, S. (2011). Determination of the change of flavonoid components as the defence materials of Citrus unshiu Marc. fruit peel against *Penicillium digitatum* by liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, 128(1), 49-54.
- Knight, R., Campbell, R., y Maguire, I. (2009). Important mango cultivars and their descriptors. In *The mango: botany, production and uses* (pp. 42-66). Wallingford UK: CABI.
- Kong, P., Aroua, K., y Daud, W. (2016). Conversion of crude and pure glycerol into derivatives: A feasibility evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 533-555.
- Kowalczyk, D., y Baraniak, B. (2011). Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 295-305.
- Krochta, J. (2002). Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. *Protein-based films and coatings*, 1, 1-40.
- Labuza, T., y Contreras, R. (1981). Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World (USA)*, 26(7).
- LeBlanc, J., Chain, F., Martín, R., Bermúdez, L., Courau, S., y Langella, P. (2017). Beneficial effects on host energy metabolism of short-chain fatty acids and vitamins produced by commensal and probiotic bacteria. *Microbial cell factories*, 16, 1-10.

- Li, J., Yeh, A., y Fan, K. (2007). Gelation characteristics and morphology of corn starch/soy protein concentrate composites during heating. *Journal of food engineering*, 78(4), 1240-1247.
- Li, L., Wang, S., Chen, J., Xie, J., Wu, H., Zhan, R., y Li, W. (2014). Major antioxidants and in vitro antioxidant capacity of eleven mango (*Mangifera Indica* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties*, 17(8), 1872-1887.
- Liu, Q., Tarn, R., Lynch, D., y Skjodt, N. (2007). Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry*, 105(3), 897-907.
- Llacuna, L., y Mach, N. (2012). Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(1), 16-24.
- López, F., y Jiménez, C. (2015). Películas biopoliméricas: aplicaciones para envases y otros productos. *Tendencias de innovación en la ingeniería de alimentos*, 9-36.
- Lourdin, D., Della Valle, G., y Colonna, P. (1995). Influence of amylose content on starch films and foams. *Carbohydrate polymers*, 27(4), 261-270.
- Ma, X., Wu, H., Liu, L., Yao, Q., Wang, S., Zhan, R., Xing, S., y Zhou, Y. (2011). Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 129(1), 102-107.
- Mali, S., Grossmann, M., García, M., Martino, M., y Zaritzky, N. (2005). Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 157-164.
- Mariño, A., Núñez, M., y Barreto, J. (2016). Microbiota, probióticos, prebióticos y simbióticos. *Rev Acta Médica*, 17(1), 1-21.
- Medina, J., y Salas, J. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de ingeniería*, (27), 56-62.
- Mendoza, M., y Caballero, J. (2006). Estudio y desarrollo de films a base de zeína de maíz, con distintos tipos de plastificantes. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, (372), 86-87.
- Mensitieri, G., Di Maio, E., Buonocore, G., Nedi, I., Oliviero, M., Sansone, L., y Iannace, S. (2011). Processing and shelf life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2-3), 72-80.

- Miller, K., y Krochta, J. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in food science & technology*, 8(7), 228-237.
- Muller, J., González, C., y Chiralt, A. (2017). Poly (lactic) acid (PLA) and starch bilayer films, containing cinnamaldehyde, obtained by compression moulding. *European Polymer Journal*, 95, 56-70.
- Németh, K., Plumb, G., Berrin, J., Juge, N., Jacob, R., Naim, H., y Kroon, P. (2003). Deglycosylation by small intestinal epithelial cell β -glucosidases is a critical step in the absorption and metabolism of dietary flavonoid glycosides in humans. *European journal of nutrition*, 42, 29-42.
- Novoa, M., y Castillo, L. (1998). Potencialidad del uso de las leguminosas como fuente proteica en alimentos para peces. *Avances en Nutrición Acuicola*.
- Organización Mundial de la Salud (OMS. (2002). Propiedades nutricionales y de salud de los probióticos en los alimentos, incluida la leche en polvo con bacterias vivas del ácido láctico, consulta conjunta de expertos de la FAO y la OMS. Córdoba, Argentina, 1 al 4 de octubre de 2001. http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/probiotics/en/index.html.
- Pace, F., Pace, M., y Quartarone, G. (2015). Probiotics in digestive diseases: focus on Lactobacillus GG. *Minerva gastroenterologica e dietologica*, 61(4), 273-292.
- Palafox, H., Yahia, E., Islas, M., Gutierrez, P., Robles, M., y González, G. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7-13.
- Padio, V., Waliszewski, K., y Robledo, G. (1996). Los probióticos y su futuro. *Arch. latinoam. nutr*, 6-10.
- Parra, D., Tadini, C., Ponce, P., y Lugão, A. (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate polymers*, 58(4), 475-481.
- Parra, R. (2009). Whey: importance in the food industry. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4967-4982.

- Patel, S., y Parikh, S. (2016). Production of lactic acid from whey by *Lactobacillus* sp. isolated from local dairy products. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, 734-741.
- Pedersen, N., Andersen, N., Végh, Z., Jensen, L., Ankersen, D., Felding, M., y Munkholm, P. (2014). Ehealth: low FODMAP diet vs *Lactobacillus rhamnosus* GG in irritable bowel syndrome. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, 20(43), 16215.
- Penna, A. (2002). Hidrocolóides: usos em alimentos. *Food Ingredients*, 17, 58-64.
- Pérez, A., Vidal, Y., y Mulkay, T. (2016). Contenido de Fenoles Totales en frutos de mango Super Haden dañados por antracnosis y tratados en poscosecha. *Cultivos Tropicales*, 37(1), 71-77.
- PLACA, B. A. E. 12-12-95 NORMA Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuentade bacterias aerobias en placa.
- Ponce, A., Roura, S., del Valle, C., y Moreira, M. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: in vitro and in vivo studies. *Postharvest biology and technology*, 49(2), 294-300.
- Puligundla, P., Jung, J., y Ko, S. (2012). Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications. *Food control*, 25(1), 328-333.
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., y Vasco, J. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11(1), 10-18.
- Rajoka, M., Mehwish, H., Siddiq, M., Haobin, Z., Zhu, J., Yan, L., y Shi, J. (2017). Identification, characterization, and probiotic potential of *Lactobacillus rhamnosus* isolated from human milk. *LWT*, 84, 271-280.
- Rakotonirainy, A., Wang, Q., y Padua, G. (2001). Evaluation of zein films as modified atmosphere packaging for fresh broccoli. *Journal of food science*, 66(8), 1108-1111.
- Regalado, C., Pérez, C., Lara, E., y Garcia, B. (2006). Whey protein based edible food packaging films and coatings. *Advances in agricultural and food biotechnology*, 237-261.
- Rhim, J., Gennadios, A., Weller, C., y Hanna, M. (2002). Sodium dodecyl sulfate treatment improves properties of cast films from soy protein isolate. *Industrial Crops and Products*, 15(3), 199-205.

- Robles, M., Astiazarán, H., Martín, O., Gorinstein, S., Alvarez, E., De la Rosa, L., Yepiz, G. y González, G. (2011). Influencia de la ingesta de mango entero y recién cortado sobre los lípidos plasmáticos y la capacidad antioxidante de adultos sanos. *Food Research International*, 44(5), 1386-1391.
- Rojas, M., Soliva, R., y Martín, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in food science & technology*, 20(10), 438-447.
- Rossi, G., Han, J., García, B., Castaño, E., y Regalado, C. (2009). Effect of temperature, pH and film thickness on nisin release from antimicrobial whey protein isolate edible films. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(14), 2492-2497.
- Schrezenmeir, J. y de Vrese, M. (2001). Probióticos, prebióticos y simbióticos: acercándonos a una definición. *La revista americana de nutrición clínica* , 73 (2), 361-364.
- Serna, L., Torres, C., & Ayala, A. (2015). Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Información tecnológica*, 26(2), 41-50.
- Sharma, S., y Rao, T. (2015). Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 791-800.
- SIAP. (2020). Panorama agroalimentario 2020.
- Siddiq, M., Sogi, D., y Dolan, K. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut 'Tommy Atkins' mangoes as affected by different pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 156-162.
- Singh, J., & Kaur, L. (2009). *Advances in potato chemistry and technology*. Academic press.
- Soria, D., Gaitán, B., Jiménez, H., y Miranda, R. (2019). El Sistema de Endocannabinoides como regulador de la lipogénesis y su posible modulación por la mangiferina. *Revista biomédica*, 30(2), 83-102.
- Sun, T., Lærke, H. , Jørgensen, H., y Knudsen, K. (2006). The effect of extrusion cooking of different starch sources on the in vitro and in vivo digestibility in growing pigs. *Animal feed science and technology*, 131(1-2), 67-86.

- Sun, Z., Harris, H. M., McCann, A., Guo, C., Argimón, S., Zhang, W., y O'Toole, P. (2015). Expanding the biotechnology potential of lactobacilli through comparative genomics of 213 strains and associated genera. *Nature communications*, 6(1), 8322.
- Taylor, J., Taylor, J., Dutton, M., y De Kock, S. (2005). Identification of kafirin film casting solvents. *Food chemistry*, 90(3), 401-408.
- Tharanathan, R., Yashoda, H., y Prabha, T. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.), "The king of fruits"—An overview. *Food Reviews International*, 22(2), 95-123.
- Thomas, DJ y Atwell, WA (1997). Almidones. *San Pablo: Eagan Press Serie de manuales*.
- Tomás, F., y Wollenweber, E. (1990). Flavonoid aglycones from the leaf surfaces of some Labiatae species. *Plant Systematics and Evolution*, 173, 109-118.
- Tonon, R., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P., y Hubinger, M. (2009). Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. *International journal of food science & technology*, 44(10), 1950-1958.
- Torres, C., Vicente, A., Flores, M., Rojas, R., Serna, L., Alvarez, O., y Aguilar, C. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *Lwt*, 97, 624-631.
- Trinetta, V. (2016). Edible packaging. *Reference Module in Food Sciences*, 1–4.
- Varón, P., y Morales, S. (2013). Arboretum y palmetum: guía de identificación.
- Vásconez, M., Flores, S., Campos, C., Alvarado, J., y Gerschenson, L. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. *Food research international*, 42(7), 762-769.
- Villada, H., Acosta, H., y Velasco, R. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas agrarios*, 12(2), 5-13.
- Walker, W. y Duffy, L. (1998). Dieta y colonización bacteriana: papel de los probióticos y prebióticos. *La Revista de Bioquímica Nutricional*, 9 (12), 668-675.
- Walstra, P., Geurts, T., Noomen, A., Jellema, A., y Van Boekel, M. (2001). *Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos* (pp. 730-730). Zaragoza: Acribia.

- Yang, L. y Paulson, A. (2000). Propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua de películas de gellan comestibles. *Investigación de Alimentos Internacional* , 33(7), 563-570.