BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACUTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES Y SU INCORPORACIÓN CON PROBIÓTICOS

Tesis presentada para obtener el grado de

LICENCIATURA EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA:
p. L.B.T. ARACELI GARCÍA SÁNCHEZ

DIRECTOR DE TESIS: D.C. RAÚL ÁVILA SOSA SÁNCHEZ

NOVIEMBRE 2023

FORMATO 1: REGISTRO DEL TÍTULO DE TESIS

C. SECRETARIO (A) ACADÉMICO (A)
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, BUAP
PRESENTE

Por este conducto solicito a usted se lleve a cabo el proceso de REGISTRO DE TÍTULO DE TESIS. Que desarrollará el siguiente alumno:

García	Sánchez	Araceli
APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRE(S)

NÚMERO DE MATRÍCULA 201650273

PROMEDIO GENERAL A LA FECHA DE REGISTRO 8.98

NÚMERO DE CRÉDITOS CURSADOS 317

NÚMERO DE MATERIAS RECURSADAS 1

El alumno debe acompañar este formato con la impresión de su Historial Académico (Kárdex).

DIRECCIÓN DEL DOMICILIO DEL ALUMNO

Calle Delphos #5119, Los Pilares

TELEFONO PARTICULAR 7560455 TELEFONO PERSONAL 222 489 1437

CORREO ELECTRÓNICO araceligarciasanchez25@gmail.com

INDIQUE LA FORMA DE TITULACIÓN POR LA QUE OPTARÁ EL ALUMNO:

Examen Profesional con Defensa de Tesis (X) Titulación automática ( )

Examen EGEL- BIOLOGÍA CENEVAL ( ) Examen Profesional con Reporte Laboral ( )

Examen Profesional con presentación de Artículo publicado o aceptado ( )

Cabe aclarar que el alumno puede cambiar su elección, previo aviso a su Director de Tesis y Co-Director de Tesis.

TITULO DE LA TESIS

Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales y su incorporación con probióticos

DATOS DEL DIRECTOR DE TESIS Y LUGAR DE REALIZACIÓN DE LA TESIS

AVILA SOSA	SÁNCHEZ	RAÚL
APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRE(S)

MAXIMO GRADO OBTENIDO POR EL DIRECTOR DE TESIS (marque con una X)

Doctorado (X) Maestría ( ) Licenciatura ( )

Nombre del laboratorio

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA

Departamento

BIOUÍMICA ALIMENTOS

Institución

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Dirección

EDIFICIO FCQ 4, CIUDAD UNIVERSITARIA, PUEBLA, PUE.

Teléfono

2222295500 EXT 2824

Correo electrónico del director de tesis

raul.avila@correo.buap.mx

Así mismo, por este conducto informo que me comprometo a recoger y entregar al director de tesis y en su caso al co-director de tesis el nombramiento que los avala como tal, y que será elaborado con la información que del presente documento se obtiene.

ATENTAMENTE

H. Puebla de Zaragoza a 19 de enero de 2021.

Araceli García Sánchez

NOMBRE Y FIRMA DEL DIRECTOR DE TESIS _____

D.C. Raúl Avila Sosa Sánchez

NOMBRE Y FIRMA DEL CO-DIRECTOR DE TESIS _____
(Sólo cuando proceda)

Vo. Bo. COORDINADOR DE LA LICENCIATURA EN BIOTECNOLOGÍA

_____

BUAP

Oficio No. BIOSAC/C-230/2021
Asunto: Nombramiento Director de Tesis
Periodo Primavera 2021

Dr. Raúl Ávila Sosa Sánchez
Facultad de Ciencias Químicas, BUAP
Licenciatura en Biotecnología
P R E S E N T E

Con base en la información entregada por el (a) ***ARACELI GARCIA SANCHEZ*** *con número de matrícula* ***201650273*** *alumno(a) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad de Puebla, por este medio me permito extender el nombramiento como Director del Trabajo de Tesis Profesional, que dicho (a) estudiante ha titulado de manera provisional:* **Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales y su incorporación con probióticos.**

Hago de su conocimiento que deberá evaluar al alumno (a) y remitir una calificación de acuerdo con el avance del trabajo y del desempeño en el proyecto de investigación que usted dirige. Le solicito que la calificación de Proyecto de Investigación I y II (según sea el caso) se entregue con el formato establecido que encontrará en www.biologia.buap.mx ***del 26 al 30 de abril del año en curso.***

Sin otro particular por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, me despido de usted.

A t e n t a m e n t e
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 25 de marzo de 2021

Dr. Salvador Galicia Isasmendi
Director de la Facultad de Ciencias Biológicas

BIOSAC/C-230/2021
Asunto: Nombramiento Director de Tesis
Periodo Primavera 2021

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS - BUAP

29 de Junio de 2023

DRA. IVONNE PEREZ XOCHIPA
COODINADORA DE LA LICENCIATURA
EN BIOTECNOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, BUAP
P r e s e n t e

*Por este conducto informo a usted, que la alumna: Araceli García Sánchez con número de matrícula **201650273** del programa de la Licenciatura en Biotecnología, ha terminado el proyecto de investigación de tesis, el cual presentará con el siguiente título:*

Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales y su incorporación con probióticos

Por lo anterior considero que la alumna puede realizar los trámites pertinentes para la revisión de tesis y posteriormente presentar su Examen de Grado.

Así mismo, se proponen a las siguientes profesoras como revisoras de tesis:

- *Dra. Paola Hernández Carranza, Departamento de Bioquímica-Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, docente en Licenciatura en Biotecnología*
- *Dra. Ivonne Pérez Xochipa, Coordinadora de la Licenciatura en Biotecnología.*

Sin otro particular por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

D.C. Raúl Avila Sosa Sánchez
Director de la Tesis

BUAP

M.C. Virginia Gutiérrez Aguilar
Secretaria Académica - Facultad de Ciencias Biológicas - B.U.A.P.
Presente:

Por este conducto reciba cordiales saludos y sirva la presente para comunicarle que el Comité Académico Coordinador de la Licenciatura en Biotecnología evaluó y aprobó los sinodales revisores del alumno: ***Araceli García Sánchez* (*201650273).***

Por lo antes mencionado, se permite que siga con los trámites de titulación, ya que cumple con los requisitos que establece el reglamento interno.

El proyecto de investigación lleva por título:

"Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales y su incorporación con probióticos"

Los sinodales aceptados para la revisión son:

D.C. Paola Hernández Carranza (FCQ) Presidente
D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez (FCQ) Secretario y Director de tesis
D.C. Ivonne Pérez Xochipa (FCQ) Vocal

Sin otro particular, agradecemos la atención prestada.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H., Puebla de Z., a 3 de octubre de 2023.

Aval 10-2023

Dra. Abigaíl Martínez Torres (FCB)

Dra. Ivonne Pérez Xochipa (FCQ)

Dra. Norma Elena Rojas Ruiz (ICUAP)

Dr. Jesús Hinojosa Moya (FIQ)

Aval tesis oct 4 2023

Dr. Carlos Alberto Contreras Paredes (JBU)

C.c.p. Dr. Salvador Galicia Isasmendi. Director de la Facultad de Ciencias Biológicas – B.U.A.P.

Índice

1 Agradecimientos 13

2 Resumen 14

3 Introducción 15

4 Marco teórico 17

4.1 Películas y recubrimientos comestibles 17

4.1.1 Composición 17

4.1.2 Características 21

4.1.3 Propiedades 21

4.1.4 Técnicas de elaboración 22

4.1.5 Ventajas 23

4.2 Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes convencionales 24

4.2.1 Ejemplos 24

4.2.2 Aplicaciones 24

4.3 Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales 25

4.4 Aditivos alimentarios en películas y recubrimientos comestibles 25

4.4.1 Probióticos como aditivos alimentarios 26

5 Justificación 28

6 Objetivo general 29

6.1 Objetivos específicos 29

7 Diagrama general de trabajo 30

8 Metodología 31

9 Resultados 32

10 Discusión 34

10.1 Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales 34

10.1.1 Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de frutas……36

10.1.2 Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de vegetales……56

10.1.3 Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de origen animal..... 65

10.2 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales 70

10.2.1 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de frutas..... 70

10.2.2 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de vegetales 78

10.3 Películas y recubrimientos comestibles incorporados con probióticos.. 80

11 Conclusiones 98

12 Referencias 99

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama general de trabajo (elaboración propia, 2021) 30
Figura 2: Cantidad de artículos citados organizados por año de publicación (elaboración propia, 2021)..... 32
Figura 3: Cantidad de artículos citados clasificados por tema de la revista en la que están publicados (elaboración propia, 2021)..... 33
Figura 4: Cantidad de artículos revisados clasificados por tópico (elaboración propia, 2021). 33
Figura 5: Parte de la producción inicial de frutas y hortalizas que se pierde o desperdicia en las diferentes etapas de la CSA en diferentes regiones. (FAO, 2012) 35
Figura 6: (A) Duraznos sin recubrimiento. B) Duraznos con recubrimiento y extracto de semilla de mango. C) Duraznos con recubrimiento sin extracto de semilla de mango (Torres-León et al., 2018)..... 71
Figura 7: Cambio en las cáscaras de los plátanos después de 8 días. Se observan plátanos sin recubrir (Control), recubiertos con formula con carboximetilcelulosa proveniente de la corona de la piña (F-1) y con fórmula con carboximetilcelulosa estándar (F-2) (Bhattacharjee et al., 2020). 74
Figura 8: Muestras de carne sin película, cubiertas con PC de alginato con extracto de cáscara de piña (EF), con jugo de cáscara de piña (PJF), con polvo de cáscara de piña liofilizada (FDF) y sólo de alginato (AF) (Lourenço et al., 2020)..... 75
Figura 9: Fresas con recubrimiento comestible a partir de quitosano y 0% de cáscara de manzana (CS), 0.25% de cáscara (CS-APP1), 0.50 % de cáscara (CS-APP2), 0.75% de cáscara (CS-APP3) y 1% (CS-APP4) de cáscara de manzana (Riaz et al., 2020) 78
Figura 10: Superficie de películas comestibles adicionadas con probióticos. a: Película de alginato, b: película de pectina, c: película con 50% alginato y 50% pectina, g: película con 75% alginato y 25% pectina y h: película con 25% alginato y 75% pectina. Los círculos blancos indican las bacterias (Shahrampour et al., 2020) 84

Figura 11: Plátanos recubiertos con películas comestibles a base de almidón de yuca adicionada con probióticos (Li et al., 2020)..... 86
Figura 12: Probióticos en películas comestibles a partir de kefiran y aislado de proteína de suero (Gagliarini et al., 2019). 91
Figura 13: Películas a partir de hidroxietilcelulosa (HEC) y carboximetilcelulosa (CMC). 1: 2% HEC, 2: 2% CMC, 3: 1% HEC + 1% CMC, 4: 1% HEC + 1% CMC + 5% AC y 5: 1% HEC + 1% CMC + 10% AC (Singh et al., 2019). 95

Índice de tablas

Tabla 1: Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales provenientes de frutas (Elaboración propia, 2021). 37
Tabla 2: Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de vegetales (elaboración propia, 2021). 58
Tabla 3: Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de origen animal (elaboración propia, 2021). 67

1 Agradecimientos

A mi madre por su amor y por apoyarme con más de lo necesario para concluir este proceso. A mi hermano por impulsarme a ser el mejor ejemplo posible. A mi abuela Rafaela, a mi tía Eva, a mi tío Raúl y a mi tía Gabriela por inspirarme y acompañarme siempre desde el cielo. Al doctor Raúl Ávila Sosa Sánchez por otorgarme su tiempo y paciencia durante todo el proceso. Y a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por formarme y por brindarme las herramientas necesarias para concluir este trabajo.

2 Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el estado del arte del desarrollo de películas comestibles a partir de fuentes no convencionales y su incorporación con probióticos. Para lo cual se hizo una búsqueda de información para posteriormente organizarla con ayuda de un gestor de referencias. Se analizó y compiló la información más relevante de las fuentes escogidas para finalmente la elaboración del reporte final. Se citaron en total 122 artículos, 121 de los cuales fueron publicados del 2010 al 2021. Se revisaron revistas principalmente de ciencias básicas como biología y química, de agricultura y de ciencias de los alimentos. Se reportó que las películas y recubrimientos comestibles se pueden fabricar a partir de compuestos de origen natural, siendo las fuentes más comunes el maíz, papa, nopal, yuca y quitosano. Las fuentes no convencionales pueden ser utilizados para la fabricación de películas y recubrimientos comestibles ya que cuentan con cualidades que les proveen buenas propiedades mecánicas y de barrera, además de conservar la inocuidad para garantizar un consumo sin riesgos. Las películas y recubrimientos comestibles pueden constar de características que no solo provean de protección a los alimentos, sino que se les pueden agregar aditivos que impliquen un beneficio para el consumidor, como la adición de probióticos. Se concluye que los empaques comestibles a partir de fuentes no convencionales podrían tener iguales o incluso mejores resultados que los fabricados con fuentes convencionales. Por otra parte, su incorporación con probióticos es una alternativa para incluirlos a la dieta diaria.

3 Introducción

De acuerdo con la FAO (2012), aproximadamente un tercio de las partes comestibles de los alimentos producidos para consumo humano se descarta. Las frutas y hortalizas son el segundo grupo de productos básicos más desperdiciados después de los cereales, desaprovechándose más del 50% tan solo en América Latina. Según Solano-Doblado et al. (2018) los productos hortofrutícolas suelen sufrir daños como resultado de ataques por plagas y de malas prácticas postcosecha. Por lo que en los últimos años se han desarrollado alternativas como las películas y recubrimientos comestibles con el fin de eliminar o minimizar estos efectos adversos. Los recubrimientos y las películas comestibles (RC y PC respectivamente) forman una capa semipermeable a los gases y al vapor de agua que retrasa el deterioro de los alimentos. Éstos mejoran sus propiedades mecánicas, ayudan a mantener la integridad estructural, retienen compuestos volátiles, permiten controlar la respiración y la senescencia, y pueden fungir como vehículo para aditivos alimentarios (Algecira & Saavedra, 2010).

Los RC y las PC se pueden elaborar a partir de compuestos de origen natural obtenidos principalmente de fuentes como maíz, papa, yuca, nopal y quitosano y son susceptibles a la degradación ambiental (Solano-Doblado et al., 2018). La fabricación de RC y PC a partir de fuentes no convencionales como son los residuos orgánicos es una alternativa sustentable para la gestión de estos residuos ya que según la CCA (2017), la mayoría termina en rellenos sanitarios. Por otra parte, la agroindustria genera una gran cantidad de residuos con potencial para ser transformados en productos con valor comercial. Cabe mencionar que las películas y recubrimientos elaborados a partir de fuentes no convencionales presentan propiedades similares a los fabricados con fuentes convencionales (Anchundia et al., 2016).

Muchas veces los recubrimientos y películas comestibles comerciales son adicionados con elementos que les otorgan propiedades como: actividad antimicrobiana, protección contra radiación atmosférica, resistencia a la oxidación, coloración, entre otras (Solano-Doblado et al., 2018). La integración de aditivos a

las PC o RC garantiza la liberación más lenta a los alimentos y favorece su protección. Se pueden incorporar una gran cantidad de factores a los empaques comestibles, pero la adición de probióticos superaría las limitaciones relacionadas con el uso de compuestos bioactivos en o sobre productos alimenticios (Pop et al., 2019). Este tipo de encapsulación de células vivas tiene gran relevancia debido a que es complicado obtener productos con probióticos por la baja estabilidad de éstos durante el procesamiento de los alimentos. Por otro lado, el interés en alimentos con probióticos no lácteos va en aumento gracias al incremento de veganos, así como de consumidores con restricciones dietéticas (Pavli et al., 2018).

4 Marco teórico

4.1 Películas y recubrimientos comestibles

Los productos hortofrutícolas son de suma importancia para la nutrición de la sociedad actual, ya que representan la base de nuestra alimentación. Desafortunadamente, este tipo de alimentos es susceptible a la descomposición debido a factores ambientales como la humedad, el calor, el frío, la exposición a diversos microorganismos, etc. De acuerdo con la FAO (2012), la mayor cantidad de desperdicio de frutas y hortalizas ocurre en los procesos post cosecha.

Por otro lado, los empaques diseñados para proteger a los alimentos suelen acumularse y perjudicar al medio ambiente, por lo cual se han desarrollado alternativas para proteger a los alimentos y a la naturaleza. Zamudio (2014) menciona que el uso de películas y recubrimientos comestibles para proteger a los alimentos de los efectos ambientales surgió en China alrededor de los siglos XII y XIII. Anteriormente se empleaba la cera para conservar los cítricos por más tiempo en óptimas condiciones. En la actualidad el uso de PC y RC se ha extendido a muchos tipos de alimentos, desde productos de origen animal hasta frutas y hortalizas.

Los recubrimientos y películas comestibles son materiales de envoltura empleados en la industria del alimento y que pueden consumirse como parte de éste. La diferencia radica en la forma de producirlos y de aplicarlos. Un recubrimiento comestible es una matriz transparente, continua, comestible y delgada que se aplica sobre los alimentos mientras se encuentra líquida, generalmente por inmersión o aspersión de una solución formadora del recubrimiento. Por otro lado, una película comestible es una matriz preformada que se obtiene tras haber sido moldeada y cuyo espesor suele ser mayor que el del RC (Fernández et al., 2015).

4.1.1 Composición

Los RC y PC pueden ser elaborados con una gran cantidad de polisacáridos, proteínas y lípidos. Los componentes pueden ser usados solos o en combinaciones en las que se puedan aprovechar las ventajas de cada grupo. Las formulaciones

pueden incluir tanto plastificantes como emulsificantes con la finalidad de mejorar las características finales de las películas o recubrimientos. Dependiendo de las formulaciones utilizadas se proporcionarán propiedades como dureza, transparencia o propiedades de barrera (Fernández et al., 2015). Las características de los recubrimientos y películas comestibles dependerán directamente de la materia prima utilizada para su fabricación (Zamudio, 2014).

Los polisacáridos y las proteínas en las PC y RC forman redes moleculares con una alta interacción entre moléculas, lo que les confiere propiedades mecánicas favorables y barrera contra gases, por lo que retardan la respiración y la descomposición de los alimentos (Fernández et al., 2015). Los polisacáridos son polímeros que aumentan la viscosidad y en algunos casos tienen efectos gelificantes ya que se dispersan fácilmente en agua. Generalmente se utilizan como espesantes, gelificantes o estabilizadores en la industria alimentaria. Durante los últimos años han sido utilizados como materias primas en la fabricación de películas y recubrimientos comestibles. Presentan buenas propiedades mecánicas y funcionan como barreras frente al O_2, CO_2 y lípidos (Zamudio, 2014). Entre los polisacáridos más importantes se encuentran los almidones y sus derivados, alginatos, carrageninas, pectinas, quitosano y derivados de celulosa.

El uso de almidones es conveniente ya que son polímeros biodegradables, comestibles y de fuentes abundantes (maíz, trigo, papa, arroz), renovables y económicas. Su principal función es servir como barrera al O_2 y a los lípidos y mejorar la textura (Zamudio, 2014). Los gránulos de almidón están formados por moléculas de amilosa y de amilopectina. La amilosa confiere excelentes propiedades mecánicas formando películas y recubrimientos resistentes. Además, estas películas y recubrimientos tienden a ser incoloros, inoloros e insípidos. Cuando las películas y recubrimientos fabricados principalmente con almidones de alta amilosa son añadidos con plastificantes se obtienen productos con muy buenas características. El desarrollo mecánico de estas PC y RC se puede ver afectado por el entrecruzamiento de las hélices de amilosa y amilopectina, provocando un endurecimiento en la película (Solano-Doblado et al., 2018).

Los alginatos son la principal macromolécula obtenida de las algas pardas. Son obtenidos de las sales sódicas, cálcicas y potásicas del ácido algínico. Los RC y PC a partir de estos compuestos suelen ser quebradizas y con poca resistencia al agua. Tienen la capacidad de reaccionar con cationes metálicos produciendo polímeros insolubles en agua. El calcio es el ion metálico más empleado para este tipo de procesos ya que forma enlaces con el alginato por medio de puentes de hidrógeno. Dependiendo de las concentraciones se pueden obtener polímeros resistentes al agua, sin embargo, su elaboración podría ser complicada (Solano-Doblado et al., 2018).

Las carrageninas son obtenidas a partir de algas rojas como *Chondrus* y *Gigarina* (Zamudio, 2014). Están conformadas por polímeros de galactosa y son solubles en agua. Presentan excelentes propiedades para formar geles y películas (Solano-Doblado et al., 2018). Requieren sales de calcio al igual que los alginatos para formar dichos polímeros. Las películas fabricadas con carrageninas suelen ser incoloras y con un ligero sabor salado. Son utilizadas principalmente para preservar la humedad de los alimentos (Zamudio, 2014).

Las pectinas son un grupo complejo de polisacáridos aniónicos que se encuentran en la mayoría de los tejidos vegetales, principalmente en los cítricos. Con las pectinas se fabrican películas y recubrimientos altamente permeables al agua (Chakravartula et al., 2019). Forman películas estables si se les agrega cloruro de calcio y algún plastificante. (Zamudio, 2014).

Las películas formadas a partir de quitosano suelen tener excelentes propiedades mecánicas y una permeabilidad selectiva a los gases, sin embargo, su alta permeabilidad al vapor de agua limita su aplicación. Estas PC y RC se emplean principalmente para proteger frutas y hortalizas frescas y procesadas. El quitosano es un polisacárido obtenido de la desacetilación de la quitina. La quitina es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza. Este polisacárido se encuentra en los caparazones de los crustáceos, el exoesqueleto de los insectos o en las paredes celulares de algunos hongos. El quitosano posee propiedades antimicrobianas y antimicóticas (Solano-Doblado et al., 2018). Para la producción

industrial se emplean principalmente los caparazones de crustáceos como camarones, cangrejos y langostas, obtenidos de los desechos de la industria procesadora de estas especies (Zamudio, 2014).

Debido a que la celulosa tiene una estructura lineal es considerada como buena candidata para la formación de PC y RC. Las películas y recubrimientos a partir de estos derivados suelen ser sólidos y resistentes a aceites y a la mayoría de los solventes orgánicos no polares. Debido a que regulan el intercambio de O_2 y CO_2 se utilizan para retrasar la maduración de frutas y hortalizas (Zamudio, 2014).

Las proteínas presentan habilidad para formar películas y recubrimientos comestibles, cuyas características dependerán de la masa molar, de la conformación, de las propiedades eléctricas, la flexibilidad y la estabilidad térmica. Siempre que se fabriquen recubrimientos y películas a partir de proteínas, hay que considerar la temperatura y el pH durante el proceso para evitar la desnaturalización de la materia prima y evitar propiedades indeseables en el producto final. Los recubrimientos y películas fabricados a base de proteínas y agua suelen ser transparentes y flexibles, además de presentar propiedades mecánicas y de barrera favorables en comparación con las PC y RC hechas con polisacáridos y lípidos (Solano-Doblado et al., 2018). Dentro de las proteínas utilizadas se encuentran algunas de origen animal como son la caseína y las proteínas del suero de la leche. Los caseinatos son utilizados como formadores de películas debido a su naturaleza anfifílica, a su estructura desordenada y a su capacidad de formar puentes de hidrógeno (Zamudio, 2014).

Los lípidos se caracterizan principalmente por ser hidrofóbicos y no poliméricos, por lo que presentan una excelente barrera contra la humedad. Las películas y recubrimientos a partir de lípidos suelen ser quebradizos debido a la falta de cohesividad e integridad estructural. Las ventajas más significativas de este tipo de polímeros son la reducción de transpiración y de deshidratación, así como el mejoramiento en la apariencia de muchos alimentos ya que proveen una capa que les proporciona brillo. Dentro de los lípidos más utilizados se encuentran las ceras,

resinas, monoglicéridos, diglicéridos y ácidos grasos como el ácido esteárico, palmítico, láurico y oleico (Fernández et al., 2015).

Los plastificantes y emulsionantes se añaden a las películas y recubrimientos comestibles con el fin de homogeneizar el proceso y mejorar sus capacidades mecánicas. Los plastificantes son moléculas de bajo peso molecular que se añaden con el fin de aumentar la flexibilidad y mejorar la capacidad de adhesión a los alimentos. Los plastificantes más utilizados son el glicerol, algunos ácidos grasos, el sorbitol y algunos aceites y ceras. Los emulsificantes favorecen la dispersión de los lípidos en la matriz y reducen la actividad de agua (Fernández et al., 2015).

4.1.2 Características

Según Zamudio (2014) de acuerdo a la función para la que están pensadas las películas y recubrimientos comestibles, éstos deben presentar las siguientes características:

- Propiedades tanto nutricionales como sensoriales compatibles con el alimento que se pretende cubrir.
- Propiedades mecánicas adecuadas para presentar suficiente resistencia contra roturas o quiebre del material.
- Estabilidad frente al mayor rango de condiciones de almacenamiento.
- Adhesión efectiva y sencilla a la superficie de los alimentos.
- Cumplir con la reglamentación vigente en materia de aditivos alimentarios.
- Requerir tecnologías sencillas y de bajo costo para su fabricación y aplicación.

4.1.3 Propiedades

Dado que los recubrimientos se han desarrollado con el fin de proporcionar protección a los alimentos, así como servir de vehículo para varios aditivos, deben poseer propiedades que faciliten una adecuada incorporación a los productos y así garantizar que éstos se puedan manipular sin que se deteriore la cubierta. Por otra parte no deben añadir ningún tipo de olor o sabor al alimento (Zamudio, 2014).

Dependiendo de los aditivos que se incorporen a las películas o recubrimientos, estos pueden variar en cuanto a su estructura y su funcionalidad. La funcionalidad de los productos está relacionada con sus propiedades bioactivas, como su actividad antioxidante, antimicrobiana y anti-oscurecimiento, así como sus propiedades funcionales como la de fungir como barrera contra el O_2, al CO_2, y a la luz UV y visible. Otras características que se pueden modificar son la permeabilidad al vapor de agua, el esfuerzo de tracción, el alargamiento a la rotura, la opacidad y el color (Silva-Weiss et al., 2013).

4.1.4 Técnicas de elaboración

Se pueden elaborar películas y recubrimientos comestibles a partir de dos procesos principales. Uno de ellos es el conocido como “proceso húmedo”, que consiste en la solubilización de los polímeros en una solución formadora de la película o el recubrimiento, para posteriormente evaporar el solvente. Un ejemplo de lo anterior es el método conocido como “casting”, en el cual luego de obtener la solución formadora de la película o recubrimiento, se evapora el solvente a condiciones de temperatura y humedad controladas. El “proceso seco” implica el método de moldeo por compresión. Este método consiste en aplicar presión a la masa formadora de películas y recubrimientos. Lo anterior debe realizarse a presiones y temperaturas determinadas durante tiempos establecidos (Escobar et al., 2011).

La eliminación del disolvente es una técnica usada para producir películas comestibles hidrocoloides. En esta técnica se forman y estabilizan estructuras continuas mediante interacciones químicas y físicas entre las moléculas. La disolución que formará las películas se incorpora en un disolvente como agua, etanol o ácido acético añadido con plastificantes. Posteriormente la mezcla se cuela, se seca y se desprende formando una capa delgada (Cagri et al., 2016).

Otro método es el conocido como “electrospraying” que consiste en atomizar el líquido formador de PC o RC por medio de fuerzas eléctricas. La solución sale por una boquilla con alto potencial eléctrico. La ventaja de este método es que el tamaño de partícula es tan pequeño que facilita la adherencia a los alimentos (Solano-Doblado et al., 2018). Los recubrimientos comestibles se aplican en forma

líquida de modo que se forma una película directamente sobre el alimento. También se puede sumergir el alimento en dos o más formulaciones diferentes con el objetivo de otorgar propiedades diversas (Fernández et al., 2017).

4.1.5 Ventajas

Algunas de las principales ventajas de las PC y RC son que provienen de biopolímeros biodegradables, no tóxicos, y que ayudan a conservar la calidad de los alimentos durante su conservación. Por otro lado, además de constituir una barrera que reduce la permeabilidad y el intercambio de moléculas con el ambiente, muchas veces se utilizan como vehículo para incorporar aditivos como agentes antimicrobianos, colorantes, antioxidantes, etc. (Zamudio, 2014). Ya que controlan la respiración, permiten controlar la senescencia de forma similar a como lo hacen las atmósferas modificadas (Algecira & Saavedra, 2010)

De acuerdo con Fernández et al. (2015), las propiedades de las PC y RC que representan ventajas son principalmente las siguientes:

- Estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud.
- Su manufactura implica procesos simples.
- Protegen al alimento de daños ambientales, durante su manipulación y almacenamiento.
- Mejoran las propiedades mecánicas del alimento y preservan su textura.
- Prolongan la vida útil de los alimentos protegiéndoles de microorganismos deterioradores.
- Proveen de una superficie apta para el agregado de aditivos benéficos para la salud o el alimento.
- Presentan propiedades de transferencia de distintas sustancias hacia el alimento, así como una adecuada permeabilidad al vapor de agua y permeabilidad selectiva a gases y compuestos volátiles.

4.2 Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes convencionales

4.2.1 Ejemplos

Las películas y recubrimientos a partir de caseína presentan propiedades como una buena transparencia y flexibilidad. Por otra parte las películas fabricadas con proteínas de suero han demostrado ser excelentes barreras contra O_2, con el inconveniente de ser muy frágiles, por lo que se les suele agregar algún plastificante como el glicerol (Zamudio, 2014). Se han desarrollado también películas comestibles a partir de almidón extraído de la raíz de yuca, ya que su extracción es en cierto grado sencilla y las películas resultantes prometen ser biodegradables (García et al., 2012). Se desarrollaron películas comestibles basadas en pectina, alginato y suero de leche con características mecánicas favorables, así como una transparencia dependiente de las condiciones es las que fueron fabricadas (Chakravartula et al., 2019). Muchas veces se combinan materias pimas para mejorar las características de los empaques comestibles, como es el caso de un recubrimiento fabricado a partir de almidón, proteína de leche y cera de abeja. Este recubrimiento obtuvo las propiedades de conservación de los polisacáridos y proteínas y la capacidad de barrera de la cera de abeja (Cortés-Rodríguez et al., 2020).

4.2.2 Aplicaciones

Se desarrollaron unas películas y recubrimientos comestibles a partir de caseinatos de sodio, aceite de algodón, soya o maíz y un plastificante para el recubrimiento de brownies, chocolate sólido y donas. Existen películas y recubrimientos a partir de suero de leche utilizados para proteger alimentos sensibles al O_2 como es el caso de las nueces y maní para así evitar su oxidación y prolongar su vida útil. Las películas y recubrimientos a partir de alginatos son utilizadas en productos cárnicos frescos o congelados debido a sus propiedades de barrera contra el O_2 y los lípidos, también son utilizadas en recubrimientos de partículas de café liofilizadas (Zamudio, 2014). Se han desarrollado películas comestibles a base de almidón de yuca con proteína de soya para aplicarse a fresas frescas y protegerlas de su degradación (Algecira & Saavedra, 2010).

4.3 Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales

Tanto en México como en E.U. y Canadá existe una deficiencia en políticas referentes a la gestión de residuos orgánicos (CCA, 2017). Existen muchas industrias de procesamiento de alimentos que obtienen subproductos de esta clase. Una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos es su empleo en la fabricación de películas y recubrimientos comestibles.

Se han hecho estudios para desarrollar películas y recubrimientos comestibles a partir de polisacáridos, proteínas o lípidos proveniente de las cáscaras de frutas o de partes de productos hortofrutícolas que normalmente se desechan. Después de realizar diferentes pruebas para las formulaciones y la caracterización, se han logrado obtener productos con buenas características, similares a las obtenidas a partir de fuentes convencionales (Anchundia et al., 2016).

4.4 Aditivos alimentarios en películas y recubrimientos comestibles

En el campo de las películas y recubrimientos comestibles, se puede notar una tendencia en la investigación para la incorporación de ingredientes bioactivos debido a un incremento en la demanda de productos con aditivos naturales. Se ha recurrido a técnicas como la microencapsulación de compuestos que actúen a favor de los alimentos evitando su descomposición o incrementar su valor agregado (Fernández et al., 2017).

En la elaboración de PC y RC muchas veces se recurre a la incorporación de otros componentes que ayudan a mejorar sus propiedades. Entre estos se encuentran los plastificantes, surfactantes, emulsionantes, antioxidantes y reafirmantes de la textura como el glicerol, sorbitol, goma gelana, entre otros (Solano-Doblado et al., 2018).

Las películas y recubrimientos comestibles tienen la capacidad de acarrear un gran número de aditivos, incluyendo una gran variedad de antimicrobianos que pueden extender la vida útil de los productos y reducir el riesgo de ser contaminados con patógenos en su superficie. Algunos de los compuestos más empleados incluyen benzoatos, propionatos, sorbatos, parabenos, agentes acidificantes y bacteriocinas (Cagri et al., 2016).

Otros aditivos incorporados suelen ser las sales de calcio que actúan como agentes texturizantes y aumentan la resistencia mecánica. Los agentes antioxidantes por su parte se añaden con el fin de prevenir el oscurecimiento de los alimentos, algunos ejemplos de éstos son el ácido cítrico, el ácido ascórbico, la cisteína y el glutatión. Los saborizantes, colorantes y nutracéuticos pueden mejorar las características físicas y nutrimentales de los alimentos (Solano-Doblado et al., 2018).

En años recientes se ha trabajado en la incorporación de compuestos bioactivos provenientes de partes de plantas. Se han añadido a los polímeros comestibles, compuestos como aceites esenciales, vitaminas, minerales, polifenoles, carotenoides, entre otros. Estos compuestos se encuentran en las hojas, flores, semillas y raíces de las plantas y funcionan como antioxidantes o incluso como antimicrobianos.

Las películas comestibles tienen el potencial de estabilizar compuestos y estructuras prolongando su viabilidad y manteniendo su integridad estructural. Por otro lado, la inclusión de plastificantes para la elaboración de recubrimientos y películas comestibles representa desventajas debido a la incapacidad de reprimir el metabolismo celular completamente. Para abordar esto, se ha propuesto la incorporación de compuestos que eliminen los radicales libres y promuevan las propiedades de adhesión celular. (Soukoulis et al., 2017).

4.4.1 Probióticos como aditivos alimentarios

La incorporación de probióticos a través de hidro coloides plastificados en contacto con productos alimenticios ha aumentado el interés de los investigadores debido a su potencial para funcionalizar y añadir valor agregado a los alimentos (Soukoulis et al., 2017). Los probióticos son microorganismos vivos que traen consigo beneficios a la salud cuando se consumen en cantidades adecuadas. Los miembros de los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* son los organismos más utilizados como probióticos, además de algunas levaduras como *Saccharomyces boulardii* (FAO, 2002). Los beneficios a la salud incluyen modulación del sistema gastrointestinal, disminución de diarrea provocada por rotavirus y antibióticos,

estimulación del sistema inmunológico, reducción de intolerancia a la lactosa y disminución de los síntomas de intestino irritable. Debido a que los probióticos son sensibles a los procesamientos más comunes para alimentos (como los tratamientos térmicos, procesos a pH bajo, presión osmótica alta, entre otros), es complicado añadirlos para consumirlos directamente de los alimentos (Soukoulis et al., 2017).

Se recomienda ingerir una dosis de 10^8 – 10^9 de células viables por día. Alcanzar esta dosis suele ser un desafío debido a que la supervivencia de los probióticos depende de la cepa, las características de los alimentos y las condiciones y el tiempo de almacenamiento. El recurrir a la encapsulación de probióticos en películas y recubrimientos comestibles podría favorecer la supervivencia óptima de los microorganismos. Por otra parte, los organismos probióticos a menudo presentan actividad antagónica contra otros microorganismos patógenos, por lo que la incorporación en PC y RC podría aumentar la estabilidad y seguridad del alimento (Pop et al., 2019).

El sector lácteo es el principal medio para la administración de probióticos siendo la forma más popular el consumo de yogurt. Hoy en día la implementación de esta tecnología permitiría satisfacer las demandas de alimentos no lácteos, principalmente para la adquisición por parte de consumidores a quienes no les agradan los derivados lácteos, que practican el veganismo o pacientes con restricciones dietéticas tales como: intolerancia a la lactosa, alergias a las proteínas de la leche y niveles de colesterol altos (Pavli et al., 2018).

En los últimos años se ha trabajado en la adición de probióticos en películas y recubrimientos comestibles. Los probióticos pueden transportarse en matrices hechas de polímeros comestibles utilizados por la industria de envasado de alimentos. De esta manera pueden incorporarse a la dieta ofreciendo un método alternativo para controlar la proliferación de microorganismos patógenos en el organismo (Pavli et al., 2018).

5 Justificación

Debido al creciente interés de consumir alimentos con envolturas de bajo impacto ambiental, se han propuesto alternativas como el uso de películas y recubrimientos comestibles. Éstas se aplican principalmente a productos hortofrutícolas con el fin de extender su vida útil, así como conservar o incluso mejorar sus características sensoriales. Generalmente los recubrimientos son fabricados con polímeros obtenidos de fuentes naturales primarias, sin embargo, la manufactura a base de fuentes no convencionales tales como los residuos orgánicos, representaría ventajas desde el punto de vista económico y ambiental. Por otra parte, a los recubrimientos comestibles se les pueden incorporar diferentes tipos de componentes como los probióticos, los cuales pueden ofrecer una opción diferente de incorporación al organismo.

6 Objetivo general

Evaluar el estado del arte del desarrollo de películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales y su incorporación con probióticos.

6.1 Objetivos específicos

- Buscar y organizar información existente (de 2010 a la fecha) sobre fuentes no convencionales para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles y su incorporación con probióticos.
- Analizar y compilar información relevante sobre fuentes no convencionales para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles y su incorporación con probióticos.

7 Diagrama general de trabajo

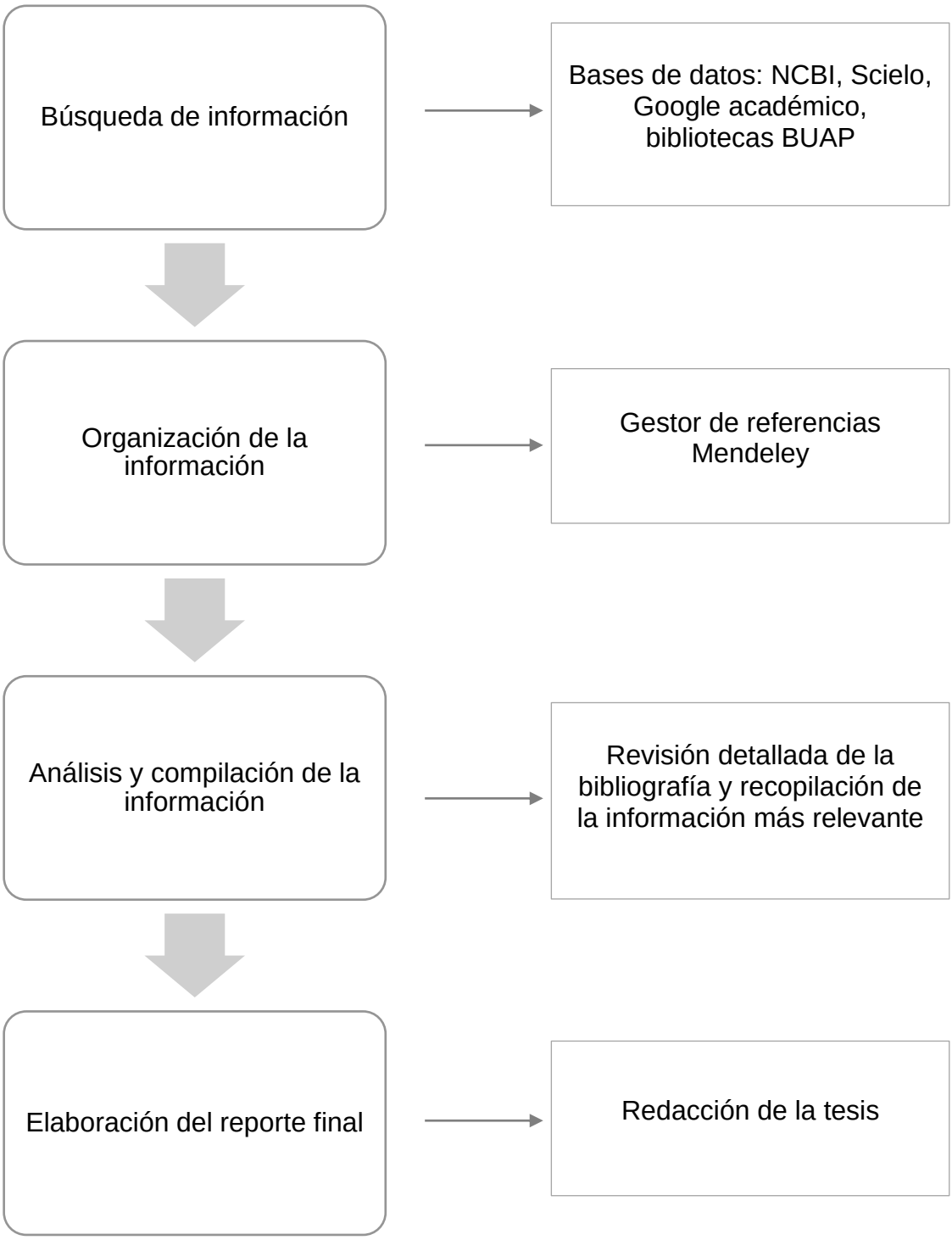

Figura 1: Diagrama general de trabajo (elaboración propia, 2021)

8 Metodología

Para la realización del trabajo se llevará a cabo una investigación de tipo documental, que consiste en recopilar, analizar y seleccionar información a través de la lectura de documentos, libros, revistas, artículos, etc. Para llevar a cabo el trabajo, se dividirá en las siguientes etapas: búsqueda, organización, análisis y compilación de la información y redacción del trabajo.

Se recopilarán artículos publicados en diversas fuentes desde el año 2010 a la fecha que abordarán temas relativos a películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes convencionales, no convencionales y adicionados con probióticos. Entre las bases de datos a emplear se encuentran: NCBI, Scielo, Google académico, bibliotecas BUAP.

Las referencias serán guardadas, organizadas y analizadas a través de Mendeley por orden alfabético y por subtema siendo “películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes convencionales”, “películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales” e “incorporación de probióticos en películas y recubrimientos comestibles” los principales. Se revisarán las referencias de manera minuciosa para identificar y recopilar la información que será útil para cumplir con el objetivo del presente trabajo. Finalmente se redactará un trabajo con la información más relevante.

9 Resultados

Se consultaron diferentes bases de datos como Scholar Google, NCBI, Redalyc, RefSeek, Springer, SciELO, Dialnet, ERIC, Elsevier y el repositorio de la BUAP. Se citaron 122 artículos, de los cuales se presenta un resumen de los años en que fueron publicados (Figura 2), donde se puede observar que la mayoría de artículos citados se publicaron en el intervalo del 2016 al 2020, siendo el 2017 el año con más artículos citados en el presente trabajo. Los temas de las revistas en que fueron publicados los artículos se reflejan en la Figura 3, siendo las revistas de ciencias básicas como química o biología en donde se encontraron la mayoría de los artículos citados, seguidas por las revistas de ciencia de los alimentos. Por último, se presenta la cantidad de artículos citados con temas directamente relacionados con el título del presente trabajo (Figura 4), donde se puede observar que se encontraron más artículos de PC y RC a partir de subproductos de frutas y de vegetales y un menor número con temática de PC y RC a partir de subproductos de origen animal.

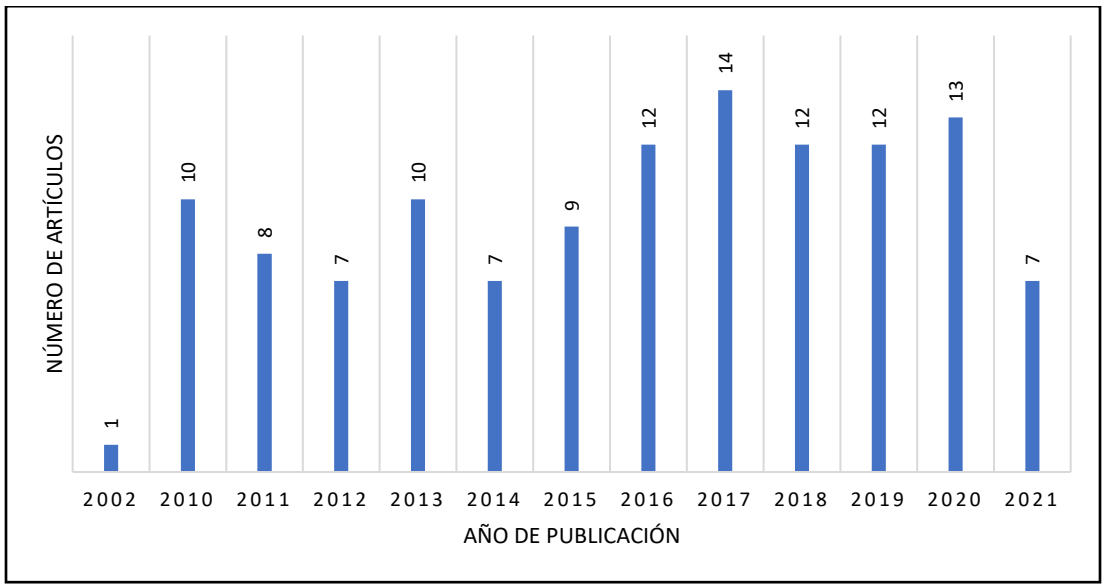

Figura 2: Cantidad de artículos citados organizados por año de publicación (elaboración propia, 2021).

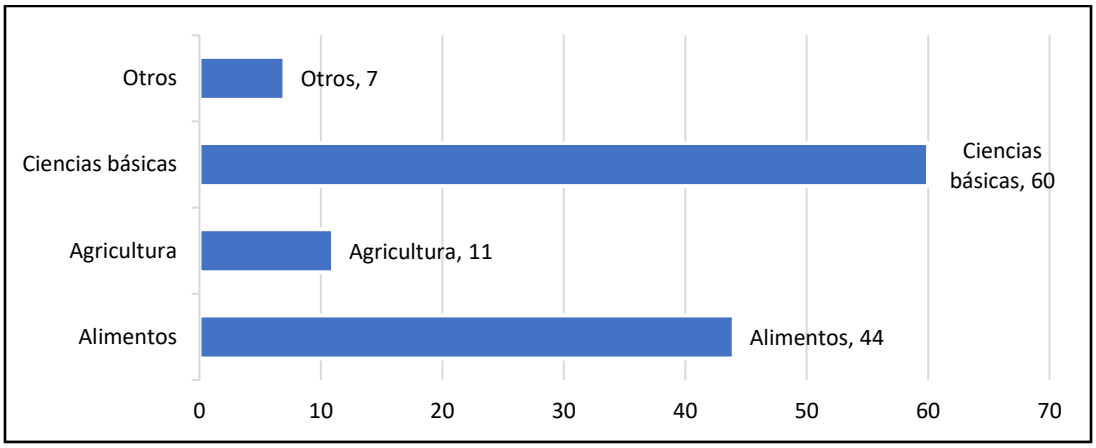

Figura 3: Cantidad de artículos citados clasificados por tema de la revista en la que están publicados (elaboración propia, 2021).

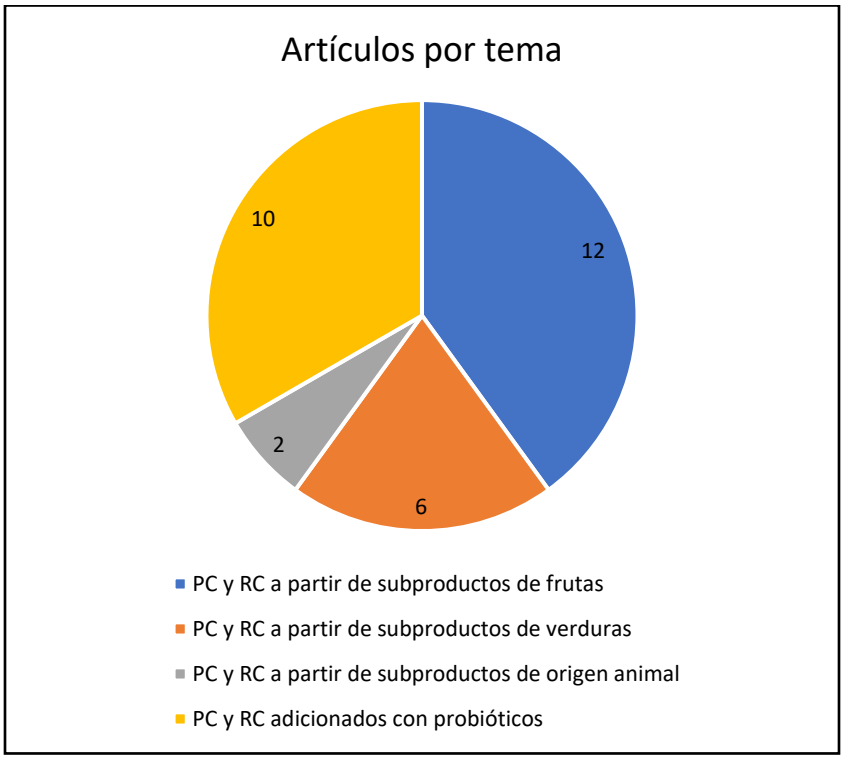

Figura 4: Cantidad de artículos revisados clasificados por tópico (elaboración propia, 2021).

10 Discusión

10.1 Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales

Los polímeros plásticos han sido utilizados para retrasar la degradación de los alimentos ya que proveen excelente protección contra el oxígeno y la humedad. Sin embargo, este tipo de empaques suelen ser de difícil degradación o reciclaje, por lo que traen consigo implicaciones negativas para el medio ambiente. Como consecuencia, pensando en el ambiente y en la salud, los hábitos de los consumidores se han ido modificando demandando productos más amigables con el ecosistema, naturales, frescos, saludables y listos para comer (Dash et al., 2019).

Considerando el impacto ambiental de los empaques tradicionales y las necesidades de los consumidores, se han buscado alternativas para sustituirlos. Unas de las opciones son los recubrimientos y películas comestibles que protegen y extienden la vida útil de los alimentos frescos o procesados. Éstas PC y RC son a base de materiales como almidones, derivados de celulosa, quitosano, quitina y gomas o proteínas de origen animal o vegetal (Baron et al., 2017).

Se ha buscado fabricar PC y RC a partir de subproductos que, como resultado del procesamiento de varios alimentos, se dejan atrás. Estos residuos se encuentran en forma de cáscaras o pieles, semillas, pulpa, sueros, entre otros. Suelen ser ricos en nutrientes, biopolímeros importantes como algunos polisacáridos, fibra dietética y compuestos bioactivos (Andrade et al., 2016).

Los residuos que se quieren aprovechar como materia prima para la fabricación de PC y RC se encuentran en grandes cantidades, ya que, de la producción inicial de frutas y hortalizas en América Latina, se desperdicia o pierde un 20% en la etapa de agricultura y alrededor de 10% en las etapas de procesamiento, distribución y consumo respectivamente (Figura 5). Dejando así un total de más del 50% de productos hortofrutícolas desaprovechados a lo lago de la cadena de suministro de alimentos (CSA). Poco más de 20% de la producción total de cárnicos son desperdiciados tan solo en América Latina, así como cerca del 30% de pescado y mariscos y poco más del 20% de productos lácteos (FAO, 2012).

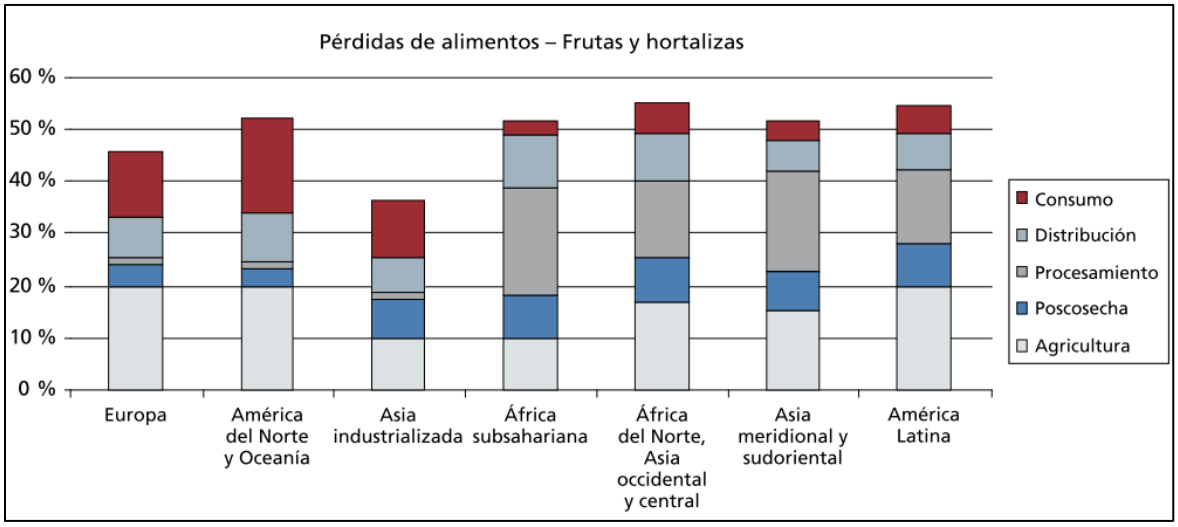

Figura 5: Parte de la producción inicial de frutas y hortalizas que se pierde o desperdicia en las diferentes etapas de la CSA en diferentes regiones (FAO, 2012).

Los desechos y sub productos orgánicos representan una fuente de materia prima económica y abundante para el desarrollo de empaques activos y biodegradables (Torres-León et al., 2018). De acuerdo con la SEMARNAT (2016), el 52.4% de los residuos sólidos urbanos en México están compuestos por restos de alimentos, jardines y otros materiales orgánicos similares.

Cuando se pretende desarrollar algún producto empleando ingredientes poco convencionales como es el caso de los residuos orgánicos, se deben considerar las propiedades funcionales de los mismos para evaluar la viabilidad del producto final (Ahmed, 2017). Las películas y recubrimientos comestibles que se diseñen deben contar con ciertos requerimientos tales como proveer una adecuada barrera contra la humedad, gases u otras sustancias; solubilidad en agua o en compuestos oleosos; adecuadas propiedades reológicas y mecánicas; además deben ser seguras para el consumo humano (de Faria Arquelau et al., 2019). Los RC y PC también deben ayudar a crear una atmósfera modificada para reducir en los alimentos la variación provocada por las condiciones de almacenamiento o transporte. Suelen ayudar a mantener un buen color, firmeza, reducir la producción

de etileno, inhibir el crecimiento microbiano y propiedades antioxidantes (Kumar et al., 2020).

10.1.1 Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de frutas

Los principales subproductos del procesamiento de frutas son las cáscaras, semillas y orujo. Estos subproductos suelen tener altas cantidades de compuestos fenólicos, pectina, fibra dietética, carotenoides, entre otros. Pueden ser aprovechados para obtener diversos productos útiles, ya que suelen emplearse para obtener alimentos funcionales o en la industria farmacéutica debido a que cuentan con numerosos beneficios para la salud (Ruiz, 2021). Existen varios autores que han desarrollado diversas películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de frutas, mimos que se presentan en la Tabla 1, así como las fuentes, las características y las aplicaciones de cada trabajo. Se puede observar que la mayoría de los autores citados han trabajado con subproductos de mango, sin embargo, en los trabajos sobre PC y RC a partir de subproductos de limón se encuentran más detalladas las características que éstas presentan. También se puede notar que se han obtenido características variadas dependiendo de la materia prima empleada.

Tabla 1: Películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales provenientes de frutas (Elaboración propia, 2021).

Fuente	Características	Aplicaciones	Beneficios	Autores
Subproductos de plátano (*Musa paradisiaca)*	-Baja solubilidad y retención de agua -Buena resistencia a la tensión -Baja permeabilidad al vapor de agua -Homogeneidad -Maleabilidad -Coloración amarilla			Anchundia et al., 2016 y de Faria Arquelau et al., 2019
Subproductos de mango (*Mangifera indica L.)*	-Baja permeabilidad al vapor de agua -Hidrofobicidad -Buena barrera contra radiación lumínica. -Actividad antioxidante -Disminución en la tensión superficial	-Durazno (*Prunus persica*) -Jitomate (*Solanum lycopersicum L.)* -Manzana (*Malus domestica*)	-Bajo intercambio gaseoso -Disminución de la senescencia -Disminución de la oxidación -Disminución de actividad enzimática	Torres-León et al., 2018; Nawab et al., 2017; Rojas, 2018 y Villalta, 2018.

	-Disminución de actividad enzimática		-Disminución en la pérdida de masa -Conservación de la firmeza -Conservación de las características organolépticas	
Subproductos de piña (*Ananas comosus*)	-Buena retención de la humedad -Retardo de maduración -Buena conservación de apariencia -Actividad antioxidante -Actividad antimicrobiana -Hidrofilicidad	-Plátano (*Musaceae*) -Productos cárnicos	-Conservación de las propiedades visuales -Disminución de actividad enzimática -Disminución de pérdida de masa -Disminución de actividad microbiana	Bhattacharjee et al., 2020; y Lourenço et al., 2020
Subproductos de limón (*Citrus limon)*	-Estructura homogénea y compacta	-Pepino (*Cucumis sativus*) -Tofu	-Eliminación de la actividad microbiana	Dash et al., 2019; Sakthi et al., 2021 y

	-Microestructura estable y libre de burbujas -Buena solubilidad -Permeabilidad al vapor de agua aceptable -Bloqueo eficiente del espectro de luz visible y ultravioleta -Buena estabilidad a la temperatura -Alta resistencia mecánica -Buena elasticidad y resistencia a la tensión -Actividad antimicrobiana -Hidrofobicidad	-Fresa (*Fragaria ananassa*)	-Disminución de la oxidación	Rahmawati et al., 2017.

Subproductos de manzana (*Malus domestica*)	-Actividad antimicrobiana -Capacidad antioxidante -Alta resistencia -Buena capacidad de retención	-Fresa (*Fragaria ananassa*)	-Disminución de pérdida de masa -Disminución de la degradación -Disminución de la pérdida de firmeza	Riaz et al., 2020

a) PC y RC a partir de subproductos de Plátano.

La cáscara de plátano es uno de los materiales que se han utilizado para el desarrollo de PC y RC. Ésta representa un 40% del peso total del fruto y suele ser descartada en la mayoría de los casos o empleada como fertilizante y alimento para animales (de Faria Arquelau et al., 2019). El acto de desechar el subproducto del plátano implica un problema medioambiental ya que contiene altas cantidades de nitrógeno y fósforo y su alto contenido en agua lo hace susceptible a la modificación por microorganismos.

El potencial de aplicación de la cáscara de plátano depende de su composición química (González-Montelongo et al., 2010). A veces también es utilizada como un método de purificación de agua; para producir energía, alcohol, biogás y biosurfactantes; como sustrato para producir enzimas como pectinasas, lacasas y enzimas con actividad lignocelulótica y como medio de cultivo para microorganismos (de Faria Arquelau et al., 2019).

De acuerdo con Blasco López & Gómez Montaño (2014), la cáscara de plátano es rica en potasio, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos, compuestos antioxidantes y antimicrobianos así como actividad contra radicales libres, posee características antifúngicas y antibióticas, asimismo cuenta con diversos neurotransmisores tales como norepinefrina, serotonina y dopamina.

Se ha analizado con especial atención el efecto de los compuestos antioxidantes presentes en la cáscara de plátano y su efecto sobre los radicales libres (Blasco & Gómez, 2014). Los antioxidantes son un importante grupo de compuestos que pueden retardar la oxidación de lípidos y de otras moléculas inhibiendo los mecanismos de reacción de las cadenas oxidativas. Son comúnmente empleados como aditivos alimentarios ya que retrasan la degradación de los alimentos. Los polifenoles como los flavonoides, fenoles y ácidos fenólicos son considerados como los mayores exponentes de antioxidantes naturales. La actividad antioxidante está relacionada con las propiedades redox, ya que estos compuestos reducen los agentes donadores de hidrógeno o de electrones eliminando los radicales libres. Lo anterior puede influir en el decremento del riesgo

de contraer cáncer, enfermedades cardiovasculares y puede prevenir o reparar el daño celular producido por especies reactivas de oxígeno (Saravanan & Aradhya, 2011).

El interés en compuestos antioxidantes provenientes de fuentes naturales ha incrementado en los últimos años (Saravanan & Aradhya, 2011). Se ha encontrado que la galocatequina es el principal compuesto al que se atribuye la propiedad antioxidante con concentraciones de 160mg por cada 100g de peso seco de la cáscara de plátano (Blasco & Gómez, 2014). La cantidad de compuestos fenólicos varía de 0.9 a 3.0 g por cada 100g de peso seco. La cáscara de plátano también contiene antocianinas y catecolaminas; además se han identificado carotenoides, como el β-caroteno y diferentes xantofilas en el rango de 300 a 400 μg, así como esteroles y terpenos (González-Montelongo et al., 2010).

Los plátanos verdes son una fuente interesante de almidón para la fabricación de películas y recubrimientos comestibles. Contienen cerca del 70% de este compuesto en su peso seco, que a su vez contiene 36.2% de amilosa, componente responsable de la capacidad de formación de PC y RC (Pelissari et al., 2013). El almidón es una estructura granular densa e insoluble en agua pero que puede contenerla. Consta de dos compuestos: la amilosa y la amilopectina. La amilosa suele constituir entre el 70 y el 75% del almidón, mientras que la amilopectina entre un 25 y 30%. (Villalta, 2018). La amilosa es una estructura conformada por D-glucopiranosas unidas por enlaces α-(1,4). Adquiere una estructura helicoidal con 6 moléculas de glucosa por cada vuelta de hélice. La amilopectina está constituida por ramificaciones unidas por enlaces α-(1,6) encontradas cada 15 a 25 glucosas en una cadena lineal (Pardo et al., 2013). La distribución de la amilosa en los gránulos de almidón depende de los huecos que haya dejado la amilopectina al sintetizarse (Agama-Acevedo et al., 2013).

El almidón es uno de los polímeros naturales más prometedores para la realización de películas comestibles, ya que es barato, abundante y provee propiedades termoplásticas (Prakash et al., 2013). Por otra parte cuenta con resistencia a la degradación enzimática, baja tendencia a retrogradarse, baja

temperatura de gelatinización, alta viscosidad y capacidad para enlazarse con agua (Pardo et al., 2013). Anchundia et al. (2016) mencionan que debido a que el almidón es biodegradable, reusable, barato, comestible, fácilmente disponible y además el polisacárido más socorrido como ingrediente funcional, es necesario indagar sobre otras fuentes de extracción.

Se empleó cáscara de plátano *(Musa paradisiaca)* para la obtención de almidón y posterior realización de PC ya que esta variedad de plátano contiene alta cantidad de almidón que a su vez cuenta con cantidades importantes de amilosa (Pelissari et al., 2013). Se procesó la cáscara para obtener una harina que se hidrató y se calentó para obtener una pasta que posteriormente formaría la película comestible. A la pasta de harina de cáscara se le agregó ácido acetilsalicílico ya que éste se asocia con los mecanismos de defensa que poseen las plantas para la resistencia a enfermedades, siendo un importante coadyuvante para la conservación de los productos hortofrutícolas después de la cosecha (Anchundia et al., 2016). El ácido acetilsalicílico se transforma en ácido salicílico cuando se aplica de manera exógena, teniendo propiedades similares. El ácido salicílico regula varios procesos fisiológicos en las plantas, además puede regular el estrés interviniendo en el sistema antioxidante (Báez-Sañudo et al., 2018).

Anchundia et al. (2016) obtuvieron un 38.11% de almidón total en la cáscara de plátano, de lo cual un 42.22% fue de amilosa (componente que otorga fuerza y flexibilidad a las películas a base de almidón). Mencionan que la cáscara de plátano representa una opción interesante para la obtención de almidón para la fabricación de películas comestibles. Por otra parte, sus películas presentaron baja solubilidad y retención de agua en comparación a otras películas de otras fuentes. Las PC resultaron tener una buena resistencia a la tensión y una baja permeabilidad al vapor de agua. Ésta última característica es importante debido a que cuanto más baja sea la permeabilidad, es menos probable que haya deterioro de los alimentos a los que se les aplique la película, debido a que la Aw sería menor. Con respecto a la solubilidad (factor importante relacionado con la biodegradabilidad) se obtuvieron valores aceptables independientemente de la cantidad de cáscara o de

AS. Concluyeron que la cáscara de plátano es una fuente viable para la obtención de almidón de calidad y con potencial para la formación de películas comestibles.

Por otra parte, de Faria Arquelau et al. (2019) desarrollaron recubrimientos comestibles a partir de una combinación de cáscara de plátano de la variedad Prata en fase de maduración 7 (amarilla con puntos cafés) con almidón. Obtuvieron unas películas homogéneas, maleables de color amarillo, con una solubilidad más baja en comparación con PC de otras fuentes, sin embargo, se obtuvo una permeabilidad al vapor de agua más alta que la reportada en otros ensayos. Concluyeron que la materia prima que utilizaron tiene características óptimas para la fabricación de recubrimientos comestibles, sin embargo, algunas propiedades varían de acuerdo con las condiciones de fabricación. Las películas y recubrimientos elaborados con harina de plátano presentan superficies homogéneas sin burbujas o cuarteaduras así como buenas propiedades mecánicas sin ser pegajosas o quebradizas (Pelissari et al., 2013).

b) PC y RC a partir de subproductos de mango.

El mango (*Mangifera indica L.)* es una de las frutas tropicales más empleadas en la industria. Después de su procesamiento se suele desechar la cáscara, que representa más del 20% del peso total de la fruta (Serna et al., 2015). La semilla también se desecha y representa de un 20 a un 60% del total del fruto y a su vez el corazón un 45 a 75% de la semilla (Diarra, 2014). La semilla suele desecharse, aunque es la fracción de la fruta con la mayoría de los beneficios ya que es el reservorio de nutrientes. Una pequeña parte de este residuo se convierte en aceite para hacer champú, jabones y lociones (Rai et al., 2020). Aunque un porcentaje de los residuos de cáscara son utilizados para la fabricación de concentrados, saborizantes y producción de aditivos, la mayoría de este subproducto es considerado desperdicio. Debido a su contenido en fósforo, nitrógeno y actividad de agua, suele convertirse en parte de la contaminación ambiental generando lactatos y emisión de gases debido a la actividad microbiana (Serna et al., 2015).

La cáscara de mango contiene nutrientes que podrían ser usados para generar beneficios económicos en la industria alimentaria (Serna et al., 2015).

Contiene carotenoides tales como provitamina A, β-caroteno, luteína y α-caroteno; polifenoles como quercetina, kaempferol, xantonoides, maguiferina, ácido gálico, acido cafeico y taninos; así como ácidos grasos omega-3 y -6 poliinsaturados y antioxidantes. El mango cuenta con el triterpeno llamado lupeol que es un efectivo inhibidor de cáncer de próstata y de piel a nivel laboratorio (Fasoli & Righetti, 2013).

La cáscara de mango contiene un 28 a 78% de fibra dietética, de la cual un 13 a 28% es fibra soluble (utilizada por el organismo para el metabolismo de carbohidratos y lípidos) y un 14 a 50% es fibra insoluble (coadyuvante en la peristalsis). Dentro de la fibra soluble se encuentra la pectina, con un poder gelificante de 23%. A un alto grado de fibra soluble se le asocia una alta capacidad de retención de agua y de compuestos oleosos sin producir una sensación grasosa en el caso de éstos últimos (Serna et al., 2015).

Los compuestos bioactivos contenidos en la cáscara de mango convierten a este subproducto en un material con alto potencial para el desarrollo de productos, aditivos y suplementos alimenticios con alto nivel nutricional. Debido a sus altos niveles de fibra dietética, se podría considerar como prebiótico natural. Se podrían diseñar también productos a base de cáscara de mango para personas con diabetes, ya que reduce la velocidad con la que la glucosa entra a la sangre. Por otra parte, los oligosacáridos a partir de pectina se han identificado como una clase de prebióticos ya que no son hidrolizadas por enzimas digestivas y pueden ser utilizadas por el microbioma intestinal (Serna et al., 2015).

La semilla de mango es una buena fuente de carbohidratos, proteínas y ácidos grasos. También se suelen encontrar cantidades importantes de ácido oleico y esteárico (Diarra, 2014). Del total de ácidos grasos, un 44.1% corresponde a los saturados mientras que un 55.3% a los insaturados. A su vez el ácido esteárico conforma un 37.8% de los ácidos grasos saturados mientras que el ácido oleico un 45.1% de los insaturados (Ahmed, 2017). Contiene un bajo contenido de proteínas, pero cuenta con la mayoría de los aminoácidos como la histidina, isoleucina, lisina, leucina, fenilalanina, metionina, treonina, valina, tirosina, alanina, aspartato, arginina, cisteína, glutamato, serina y prolina. Es una buena fuente de vitaminas A,

B1, B2, B6, B12 y C. La semilla de mango es rica en potasio, nutriente esencial que juega un rol importante en la síntesis de aminoácidos y proteínas; magnesio y calcio, que son importantes para el metabolismo de carbohidratos; fosforo y sodio (Rai et al., 2020). Cabe mencionar que la semilla de mango también contiene anti nutrientes como saponinas, lectinas, taninos e inhibidores de tripsina. Procesos como el secado, remojado o fermentación se han propuesto como maneras simples de desintoxicación de la semilla sin afectar a los nutrientes con los que cuenta (Beyene & Araya, 2015).

Los antioxidantes ayudan a disminuir o eliminar la actividad de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno. Estas especies reactivas que se producen naturalmente en el interior de la célula pueden reaccionar con algunos compuestos celulares y provocar daños en el ADN, algunas proteínas, lípidos y otras biomoléculas ocasionando muerte celular o en caso de los alimentos, su enranciamiento (Rojas, 2018). La capacidad antioxidante de la semilla de mango es más alta que una variedad de frutas como tamarindo, aguacate y yaca, esto debido a su alto contenido en compuestos fenólicos y a las vitaminas que contiene (Kaur & Brar, 2018). Entre los compuestos que otorgan capacidad antioxidante se encuentran el ácido gálico, ácido cinámico, ácido ferúlico, manguiferina, vainillina y ácido cafeico (Rai et al., 2020). La actividad antioxidante ha demostrado ser de un 95%, funcionando en un 26.1% aplicado a productos alimenticios sometidos a altas temperaturas (Kaur & Brar, 2018).

Los productos con semilla deshidratada de mango son efectivos para combatir la acidez estomacal y mejorar la digestión. La semilla de mango facilita el mantener los niveles de azúcar en la sangre bajos por lo que ayuda en el tratamiento de diabetes. El polvo de semilla de mango es efectivo en el tratamiento de inflamación de garganta y tos. Los antioxidantes presentes ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares y cáncer (Rai et al., 2020).

Rojas (2018) desarrolló un recubrimiento comestible a partir de la incorporación de harina de cáscara de mango Manila con almidón y sorbitol. Torres-León et al. (2018) desarrollaron PC y RC utilizando también harina de cáscara de

mango de variedad Ataulfo. Además, del núcleo de la semilla se obtuvo un extracto para potenciar la capacidad antioxidante de las películas y recubrimientos comestibles. Por otro lado Nawab et al. (2017) desarrollaron recubrimientos comestibles a partir de harina extraída de semillas de Chaunsa, una variedad de mango que crece de manera local en Pakistán. Después del proceso para la obtención de la materia prima, de la semilla se obtuvo una harina con una pureza del 98.5% aproximadamente. Villalta (2018) también propuso una formulación a base de almidón obtenido de cáscara de mango, pero enfocándose en la biodegradabilidad de su biopolímero. La biodegradación es la descomposición de los materiales en compuestos simples asimilables por la naturaleza. Ésta puede ser aerobia o anaerobia y se lleva a cabo gracias a reacciones enzimáticas realizadas por microorganismos, tales como bacterias, algas u hongos en condiciones ambientales normales (Ruiz et al., 2013).

Para conseguir RC a partir de harina de cáscara de mango con almidón y sorbitol y evaluar su funcionamiento en comparación con RC sin harina de mango, Rojas (2018) propuso que, una vez conseguida la harina de cáscara de mango, se realizaran 3 formulaciones para los recubrimientos: para la primera que se tomó como control se utilizó únicamente almidón y sorbitol como ingredientes principales sin añadir harina de cáscara de mango; a la segunda formulación se le adicionó el polvo de cáscara en concentración del 2% y para la última formulación en concentración de 4%. Para realizar recubrimientos comestibles con buenas características de barrera, Nawab et al. (2017) planteó llevar a cabo una gelatinización de la harina de semilla de mango y se separó en 3 porciones cambiando los plastificantes en cada una: se agregó glicerol a la primera, sorbitol a la segunda y una combinación 1:1 de ambos para la tercera. Con el objetivo de conseguir PC biodegradables y evaluar su biodegradabilidad, Villalta (2018) realizó tres formulaciones a partir de almidón, agua y plastificantes en diferentes concentraciones. La primera formulación contenía 20% de almidón, 45% de un plastificante y 35% de agua; la segunda tenía 5% de almidón, 25% de tres plastificantes y 70% de agua y la tercera 5% de almidón, 25% de un grupo diferente de tres plastificantes y 70% de agua.

Nawab et al. (2017) obtuvieron RC con buenos resultados con respecto al control, demostrando una baja permeabilidad al vapor de agua y al intercambio gaseoso. Torres-León et al. (2018) obtuvieron películas comestibles con una alta actividad hidrofóbica y de una coloración amarilla propia de la cáscara de mango. Sus películas resultaron ser una buena barrera contra la radiación lumínica, principalmente debido a los carotenoides y antocianinas presentes en la materia prima, mismos que otorgan su coloración. Las PC y RC con extracto de núcleo de semilla presentaron un mayor espesor y permeabilidad al vapor de agua (PVA) en comparación con las películas sin extracto. La PVA sin embargo fue mejor que la de otros empaques producidos con residuos. Villalta (2018) obtuvo películas biodegradables a la intemperie y en ambiente acuoso. Sin embargo, se obtuvieron mejores resultados en la biodegradabilidad por agua en comparación a la ambiental, debido a que, en una suspensión, las películas liberan más fácilmente el almidón y lo ponen disponible para las amilasas.

La utilización de recubrimientos comestibles a base de almidón adicionados con cáscara de mango puede incrementar los compuestos bioactivos, así como la capacidad antioxidante. El recubrimiento aumenta de manera significativa la resistencia a la penetración en los alimentos, así como la firmeza de estos (Rojas, 2018). Las películas y recubrimientos comestibles a partir de mango de la variedad Ataulfo tienen buenas propiedades de permeabilidad, color, antioxidantes e hidrofobicidad. El empleo de extracto de semilla incrementa considerablemente la actividad antioxidante en las películas, esto debido al contenido de polifenoles. La adición de antioxidantes contribuye a la reducción de la tasa de respiración de las frutas aumentando el tiempo de vida de los productos (Torres-León et al., 2018). Los recubrimientos comestibles con harina de semilla de mango proveen un tratamiento alternativo para mejorar la vida post cosecha de las frutas en las que se apliquen. Todas las formulaciones mostraron valores aceptables en cuanto a retención de humedad, intercambio gaseoso, disminución de actividad enzimática, prevención de pérdida de masa y preservación de características aceptables para el consumidor (Nawab et al., 2017).

Los componentes presentes en la cáscara de mango ayudan a mejorar las propiedades mecánicas de las películas y recubrimientos. Con las proteínas se forman enlaces vía disulfuro, enlaces covalentes, interacciones electrostáticas, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. Los lípidos contribuyen significativamente a reducir la permeabilidad al vapor de agua fungiendo como barrera contra la humedad (Torres-León et al., 2018). Las formulaciones a partir de recursos renovables son más ecológicas con huella de carbono menor. Su biodegradación suele ser en condiciones ambientales y en tiempos más reducidos en comparación con los plásticos convencionales que se emplean para evitar la descomposición de los alimentos. Además, su precio no depende del petróleo, por lo que se convierten en una alternativa económicamente estable y viable (Villalta, 2018).

c) PC y RC a partir de subproductos de piña.

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta que goza de excelentes propiedades organolépticas (Lima et al., 2019). Es una de las frutas tropicales más populares en el mundo. Se produjeron alrededor de 28 millones de toneladas en el mundo en el 2019 (Mccance et al., 2021). Es rica en vitaminas, azúcares y fibra que ayuda al proceso digestivo (Lima et al., 2019). Cerca del 50% del peso de la piña está conformada por la cáscara, el corazón, el tallo, la corona y las hojas. En la mayoría de las ocasiones, todo esto es desechado o utilizado como alimento para animales. Sin embargo, todos estos residuos pueden ser transformados en bioproductos útiles para la sociedad. Existen establecimientos que transforman los residuos de la piña en platos biodegradables o textiles (Mccance et al., 2021).

La proteína presente en los subproductos de piña va entre un 8 a un 11%, siendo el corazón la parte con menor cantidad y la corona la que contiene más. En cuanto a nutrimentos digestibles totales, los porcentajes rondan entre 60 y 4%, siendo la corona la parte que contiene mayor cantidad debido a que es una parte joven, contraria a la cascara que presenta los valores más bajos compensándolo con su cantidad de fibra (López-Herrera et al., 2014).

Los desechos de la piña son una fuente importante de azúcares y fibra que se pueden aprovechar para producir otros productos. Unas de las azúcares presentes más importantes, son la fructosa y la glucosa, azúcares simples que se pueden encontrar libres en la fruta. Los subproductos de la piña almacenan cadenas complejas de azúcares en estructuras lignocelulósicas, sobre todo los residuos fibrosos o leñosos. La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son los azúcares principales que conforman la lignocelulosa, misma que le da rigidez a las paredes celulares de la planta (Mccance et al., 2021). Con respecto a la lignina, la parte de la planta que contiene mayor cantidad son las raíces con un 17.5% del total de la materia seca, esto debido a su naturaleza leñosa. La pulpa es la que contiene mayor cantidad de hemicelulosa con 29.5% del total de materia seca. La corona es la parte que contiene mayor cantidad de celulosa con un 59% del total de materia seca (López-Herrera et al., 2014).

La celulosa es el polímero natural más abundante en la naturaleza al ser el componente principal de las paredes celulares de las células vegetales (Morales, 2015). Es una cadena de glucosas que se encuentran distribuidas de manera lineal y enlazadas por medio de enlaces covalentes. Las cadenas de glucosa se unen entre sí por medio de puentes de hidrógeno formando regiones desordenadas (amorfas) o sumamente ordenadas (cristalinas) (Bolio-López et al., 2011). Las regiones amorfas le confieren a la celulosa elasticidad mientras que las regiones cristalinas le otorgan resistencia (Morales, 2015). Las regiones amorfas se pueden hidrolizar dejando las cristalinas solas por medio de ácido (Bolio-López et al., 2011).

Las modificaciones de la celulosa se logran gracias a la sustitución de radicales como el carboxilo, alquilo, acetato y nitrato en los grupos hidroxilos. Estas modificaciones pueden fungir como base para plásticos, fibras, estabilizantes de emulsiones, lacas o explosivos. La carboximetilcelulosa es un derivado de la celulosa que se sintetiza haciendo reaccionar el hidróxido de sodio y ácido monocloroacético. El interés comercial y ambiental de la carboximetilcelulosa ha crecido en los últimos años debido a que es un compuesto fácil de obtener además de ser soluble en agua (Jiménez et al., 2011).

Bhattacharjee et al. (2020) desarrollaron recubrimientos comestibles a partir de corona de piña. La corona fue cortada en pequeños pedazos, lavada para eliminar restos de biomasa y secada para posteriormente ser pulverizada. Después de procesarla se obtuvo celulosa extraída de la corona de la piña. Se sintetizó carboximetilcelulosa a partir de la celulosa obtenida. Para esto se realizó una sustitución de grupos carboximetil en la estructura de la celulosa. Por otra parte, Lourenço et al. (2020) desarrollaron películas comestibles a partir de alginato adicionado con antioxidantes de cáscara de piña. La cáscara de piña fresca de la variedad Sweet Gold se transportó bajo condiciones de refrigeración y una vez en el laboratorio se seccionó en porciones pequeñas y se almacenó en bolsas al vacío a una temperatura de menos 80 °C hasta el momento de procesarla.

Bhattacharjee et al. (2020) realizaron 2 formulaciones: la primera empleando carboximetilcelulosa proveniente de la corona de piña y la segunda empleando carboximetilcelulosa estándar. Primero se hicieron soluciones con cada una de las sustancias a probar, posteriormente se les agregó glicerol como plastificante y aceites esenciales, se mezcló hasta obtener soluciones homogéneas. Por su parte, Lourenço et al. (2020) obtuvieron jugo y un extracto en forma de disolución acuosa de la cáscara de piña. Las soluciones se estabilizaron por microencapsulación con la técnica de secado por espray. Otra porción de la cáscara fue liofilizada y pulverizada con ayuda de un molino. El polvo y las microcápsulas se almacenaron en matraces ámbar a 5°C. Finalmente se obtuvieron cuatro fórmulas para las películas: la primera con alginato y micro partículas de extracto de cáscara de piña, la segunda con alginato y micro partículas de jugo de cáscara de piña, la tercera con alginato y cáscara de piña liofilizada y la cuarta de alginato sin cáscara de piña (Lourenço et al., 2020)

La película de Bhattacharjee et al. (2020) logró prevenir la pérdida de humedad retardando los cambios bioquímicos que se llevan a cabo en los alimentos de forma natural. La formulación con carboximetilcelulosa proveniente de corona de piña conservó mejor la apariencia de las muestras recubiertas, la textura y el color y demostró ser la formulación más efectiva para conservar las características del

producto y alargar su comerciabilidad. Mientras que la película con extracto desarrollada por Lourenço et al. (2020) demostró tener alto contenido de compuestos fenólicos aumentando la actividad antioxidante. La película con microcápsulas de extracto de cáscara obtuvo un recuento de bacterias mesofílicas aerobias (responsables del enranciamiento) menor en comparación con las otras películas, esto debido a que, al estar encapsulados las compuestas de activos, permite que se liberen más paulatinamente. Las películas mostraban cierto poder de hinchamiento, debido a que eran hidrofílicas. Aunado a esto, los compuestos presentes se podían liberar más lentamente evitando la oxidación de las muestras en las que se probó.

d) PC y RC a partir de subproductos de limón.

Los cítricos son alimentos tropicales y subtropicales ricos en vitaminas, minerales, fibra y compuestos fitoquímicos que son benéficos para la salud. Generalmente es aprovechado únicamente el jugo o la pulpa para la fabricación de alimentos procesados. La cáscara suele desecharse a pesar de que puede ser rica en antioxidantes y propiedades antimicrobianas. De las cáscaras de los cítricos se pueden obtener aceites esenciales para consumo y suelen tener compuestos inhibitorios de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Rahmawati et al., 2017). Las cáscaras secas de cítricos son ricas en pectina, celulosa y hemicelulosa y pueden ser utilizadas como sustrato para fermentación. Los subproductos de cítricos también suelen ser procesados para obtener extractos de flavonoides y d-limoneno. Pueden ser hidrolizados para fabricar etanol para posteriormente ser usado como combustible (Ajikumaran et al., 2017). Los aceites esenciales que se obtienen de cáscaras de cítricos generalmente son utilizados como saborizantes para bebidas, en la industria farmacéutica y en la cosmética y de perfumería (Herrera-Plasencia et al., 2019).

El limón (*Citrus lemon)* es una importante planta medicinal que contiene alcaloides con una importante actividad anticáncer y potencial antibacterial en extractos de sus diferentes partes. Los flavonoides encontrados en los aceites esenciales de la cáscara de limón funcionan como antioxidantes e inactivadores de

radicales libres, teniendo la capacidad de modular la actividad enzimática e inhibir la proliferación celular. En la planta estos compuestos tienen la función de resistir contra patógenos incluidas bacterias, hongos y virus. Además la fibra encontrada en la cáscara del limón también contiene compuestos de activos como poli fenoles y vitamina C (Dhanavade et al., 2011).

Las pectinas conforman un grupo de polisacáridos de origen vegetal utilizados en la industria alimentaria para la elaboración de mermeladas, productos lácteos, etc. Para la producción de la pectina se utilizan principalmente cáscaras de cítricos y manzana (Maidana et al., 2019). La pectina es un polímero que se encuentra en las paredes celulares de plantas no leñosas. Tiene la capacidad de captar agua y formar geles, lo que ha popularizado su uso en el sector alimenticio y de otras industrias. En el ámbito alimenticio es utilizada como agente gelificante, espesante y estabilizante (Criminna et al., 2016). La pectina también puede utilizarse como emulsificante y como vehículo en las industrias alimentaria y farmacéutica. Aunque la pectina no se puede digerir en el tracto digestivo como la fibra dietaria, puede funcionar como sustrato para la microbiota intestinal lo que ayuda a reducir el riesgo de cáncer de colon (Zhang et al., 2015). No contribuye significativamente a la digestión, pero su consumo puede reducir la absorción de colesterol en la sangre, además los microorganismos gastrointestinales la degradan y pueden liberar compuestos que benefician a la salud, actuando así como prebiótico (Srivastava & Malviya, 2011). La pectina les otorga a los productos finales buenas propiedades mecánicas y excelentes propiedades de barrera contra el oxígeno. Además las PC que contienen pectina suelen presentar propiedades antimicrobianas (Dash et al., 2019).

Dash et al. (2019) desarrollaron PC a base de camote (*Ipomoea batatas*) y pectina obtenida de desperdicio de limón (*Citrus limon*). El camote cuenta con un 20 a 40% de materia seca siendo el almidón el compuesto predominante, con niveles variables de azúcar y buena cantidad de fibra dietética, vitaminas y minerales. Los azúcares presentes son principalmente glucosa, fructosa y sacarosa. Las propiedades de los productos procesados derivados del camote dependen de

la actividad de la amilasa durante la preparación y de qué tanto se pierde amilopectina. Existe una variabilidad en la temperatura de cohesión del almidón, con una cocción rápida a 20 °C con una retrogradación más lenta (Mwanga et al., 2017). Sakthi et al. (2021) por su parte, desarrollaron recubrimientos a partir de agar agar, leche de coco y extracto de cáscara de limón. El agar agar contiene principalmente 2 componentes: la agarosa y la amilopectina. Está presente en las paredes celulares de algunas especies de algas rojas. Es empleado en la formulación de medios de cultivo para trabajos microbiológicos, además de ser empleado como sustituto de grenetina en la cocina vegetariana. La leche de coco es un líquido blanco lechoso que se extrae de la pulpa de cocos maduros. Se utiliza principalmente para la cocina en la preparación de postres y bebidas. Por otro lado, Rahmawati et al. (2017) desarrollaron RC incorporando aceites esenciales obtenidos de cáscara limón.

Para la preparación de su película, Dash et al. (2019) utilizaron una solución que contenía 5 g de sólidos, de los cuales 3 partes eran de almidón de camote y una parte de pectina de limón. Para la formulación de Sakthi et al. (2021) se realizó una solución donde se emplearon 10g de agar agar, 10g de leche de coco y 10g de extracto de cáscara de limón. Rahmawati et al. (2017) agregaron aceite esencial de limón a dos formulaciones: una con almidón de yuca y otra con alginato de sodio. La formulación con almidón de yuca contenía 5% (p/v) de almidón, 2% (p/v) glicerol y el aceite esencial. Para preparar la fórmula de alginato, se agregó 1.29% (p/v) de alginato de sodio en agua destilada, se agregó el aceite esencial y se mezcló hasta obtener una emulsión.

Dash et al. (2019) obtuvieron películas con un grosor de entre 27 a 0.30mm con una estructura homogénea y compacta, una microestructura estable y libre de burbujas. Obtuvieron valores aceptables en cuanto a la solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua. Sus películas bloquean eficientemente el espectro de luz visible y ultravioleta, aunque sacrificando la transparencia. Las películas presentaron una buena estabilidad a la temperatura y las que fueron realizadas con almidón de camote y pectina de limón presentaron una alta resistencia mecánica

debido a la estabilidad en sus enlaces covalentes y puentes de hidrógeno. La concentración mínima inhibitoria para *Rhizopus Stolonifer, Botrytis sp, Bacillus sp* y *Escherichia coli* del aceite de cáscara de limón es de 0.6%. Los recubrimientos hechos con almidón de yuca cuentan con una viscosidad mayor en comparación con otras matrices (Rahmawati et al., 2017).

Las PC a partir de subproductos de limón cuentan con características que les permiten ser utilizadas para proteger alimentos y conservarlos de una manera óptima sustituyendo los empaques convencionales (Dash et al., 2019). Los recubrimientos suelen contener flavonoides, fenoles y taninos debido a que la cáscara de limón es rica en estos compuestos. También presentan actividad antimicrobiana inhibiendo el crecimiento de microorganismos como *E. coli* y *S. aureus* (Sakthi et al., 2021). Los recubrimientos de cáscara de limón también demostraron tener buena actividad antagónica contra bacterias. Con mejores resultados contra bacterias Grampositivas debido a la ausencia de una capa de lipopolisacáridos. También presentan buena actividad antagónica contra hongos del tipo *Rhizopus stolonifer* y *Botrytis sp*. El hecho de agregar aceites esenciales a la formulación de recubrimientos comestibles, les provee a estos recubrimientos mejores propiedades de barrera, alta hidrofobicidad y buenas propiedades poliméricas, además de proveer otras ventajas dependiendo de los compuestos presentes en los aceites (Rahmawati et al., 2017).

e) PC y RC a partir de subproductos de manzana.

Las manzanas (*Malus domestica*) son de las frutas más populares y consumidas en el mundo. El residuo de manzana es generado principalmente después de la manufactura de jugos. Más de 0.8 millones de toneladas son generadas cada año (Hoseinzadeh et al., 2013). Los polifenoles que se encuentran en la cáscara de manzana suelen ser 6 veces más abundantes que en la pulpa. Los extractos de la cáscara de manzana tienen una importante actividad antioxidante en comparación con los extractos de la pulpa. La cáscara de manzana es una fuente rica en flavonoides que pueden ayudar contra la hipertensión (Balasuriya & Rupasinghe, 2012). Los polifenoles antioxidantes contenidos en la manzana incluyen catequinas,

epicatequinas y procianidinas. La cáscara contiene una variedad de fitoquímicos como la quercetina, catequina, floridzina y ácido clorogénico, que funcionan como antioxidantes. Varios estudios han demostrado la relación inversa entre el consumo de manzanas y el riesgo de padecer algunos tipos de cáncer, como el cáncer de mama. Además, se relaciona el consumo de la fruta con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, asma y diabetes (Reagan-Shaw et al., 2010).

Riaz et al. (2020) desarrollaron recubrimientos a partir de quitosano y cáscara de manzana. El quitosano proviene de la acetilación de la quitina y es el polímero más abundante después de la celulosa. Tiene excelentes propiedades de formación de películas con un permeabilidad selectiva a los gases y buenas propiedades mecánicas (Sun et al., 2017). Se añadió cáscara de manzana debido a su alto contenido en compuestos bioactivos que pueden ayudar a la recuperación eficiente de antioxidantes. Para realizar los RC se disolvió una solución de quitosano con glicerol consiguiendo una concentración de este ultimo de 30%, se separó en 5 partes iguales para agregar cáscara de manzana al 0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1% respectivamente. El recubrimiento con 1% evitó mejor que los demás la pérdida de masa. Los recubrimientos con cáscara de manzana demostraron tener una actividad antimicrobiana importante, esto puede deberse a que los compuestos bioactivos y fenólicos presentes en la cáscara provocan cambios fisiológicos en los microorganismos. Los recubrimientos de solo quitosano y 0.25% de cáscara de manzana rondaban el 60% en actividad antioxidante, mientras que las formulaciones con 0.50, 0.75 y 1% de cáscara de manzana rondaban el 70% (Riaz et al., 2020).

10.1.2 Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de vegetales

Los vegetales pueden ser fuente de compuestos aptos para realizar PC y RC. Diferentes autores han empleado subproductos de verduras para elaborar películas y recubrimientos que sean capaces de proteger alimentos de la degradación, mismos que se presentan en la Tabla 2. Se puede notar que la mayoría de los autores citados han trabajado con subproductos de yuca para realizar sus PC y RC. Por lo anterior, tanto las características como los beneficios de las PC y RC de

subproductos de yuca están más documentados comparados con las PC y RC de otras fuentes vegetales.

Tabla 2: Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de vegetales (elaboración propia, 2021).

Fuente	Características	Aplicaciones	Beneficios	Autores
Subproductos de yuca (*Manihot esculenta*)	-Baja permeabilidad a los gases -Baja permeabilidad al vapor de agua -Buenas propiedades visuales -Textura firme -Buena solubilidad en agua	- Aguacate *(Persea americana)* -Piña (*Ananas comosus*) -Naranja (*Citrus nobilis*)	-Disminución en la pérdida de masa -Disminución de la respiración -Conservación de la firmeza -Retardo de enranciamiento -Conservación de color -Alargamiento de la vida útil	Handayani et al., 2018; Maharsih et al., 2021 y Apriyani et al., 2020
Subproductos de papa (*Solanum tuberosum*)	-Baja cristalinidad -Baja permeabilidad al vapor de agua -Buenas propiedades mecánicas -Buenas propiedades de barrera	-Salmón ahumado	-Disminución de la presencia de microorganismos -Conservación de propiedades organolépticas	Tammineni et al., 2013

Mucílago de tuna y nopal (*Opuntia ficus-indica*)	-Alta capacidad de retención de agua -Alto porcentaje de solubilidad -Baja permeabilidad al vapor de agua -Alto grado de opacidad -Luminosidad -Resistentes			Ayquipa, 2018 y Espino-Díaz et al., 2010

a) PC y RC a partir de subproductos de yuca.

La yuca (*Manihot esculenta*) es un tubérculo de gran importancia comercial y de los más importantes entre los cultivos tropicales. Es una fuente de energía importante y de las más utilizadas en la dieta de muchos países. Tiene la ventaja de que se puede aprovechar cada parte de la planta, aunque principalmente se utilice la raíz. Suele contener en promedio un 84.5% de almidón por materia seca, aunque es baja en grasas y proteínas con un 6 a 8%. La yuca amarilla cuenta con una gran cantidad de carotenoides (Ceballos et al., 2010). El almidón de yuca es un material interesante para la fabricación de películas y recubrimientos comestibles ya que mejora la estructura superficial de los materiales, reduce la deshidratación y la actividad de agua del material, además de conservar el sabor de los productos (Handayani et al., 2018).

Handayani et al. (2018) desarrollaron un recubrimiento comestible a partir de almidón proveniente de cáscara de yuca. Mencionan que escogieron la piel de yuca porque suele tener almidón en un 64%. Agregaron a la formulación hoja de laurel, ya que contiene compuestos con actividad antimicrobiana y antioxidante; como taninos, flavonoides y aceites esenciales. El laurel (*Laurus nobilis L.*) es cultivado en muchos países con climas subtropicales principalmente por sus hojas aromáticas. Las hojas secas se usan principalmente como especia ya que mejora el sabor de diferentes guisos, cárnicos, vinagres y bebidas. Los aceites esenciales de la planta se usan generalmente en la industria alimentaria. El laurel estimula al sistema digestivo, tiene propiedades antibacterianas, antioxidantes, reducen los niveles de glucosa, de colesterol y triglicéridos (Peris & Blázquez, 2015). Maharsih et al. (2021) y Apriyani et al. (2020) también desarrollaron películas y recubrimientos comestibles a base de cáscara de yuca con quitosano. A pesar de que el almidón de yuca es un ingrediente funcional importante, las películas fabricadas únicamente de este material, en ocasiones tienen poca resistencia al agua y propiedades de barrera. Por lo que a veces es necesario agregar otros materiales con propiedades hidrofóbicas y/o antimicrobianas, como el quitosano (Apriyani et al., 2020).

Para fabricar sus películas, Handayani et al. (2018) obtuvieron primero el almidón de la cáscara de yuca y el extracto de hojas de laurel. Se hizo una solución con almidón de yuca al 5% y se agregó 10% de sorbitol como plastificante. A partir de la mezcla de almidón se realizaron tres formulaciones con extracto al 3, 4 y 5% respectivamente. Para fabricar los recubrimientos comestibles con almidón y quitosano, se diluyó almidón con agua destilada y quitosano con ácido acético, se mezclaron estas dos soluciones y se agregó glicerol (Apriyani et al., 2020). Maharsih et al. (2021) hicieron dos principales variantes en las formulaciones agregando quitosano a unas y dejando sin quitosano a otras. Se realizaron 3 formulaciones de almidón de yuca en agua, al 3%, al 5% y al 7% (p/v). Para las preparaciones con quitosano se agregaron 50 ml de solución de quitosano antes de poner el glicerol. Apriyani et al. (2020) hicieron películas con dos variables: la concentración de almidón y la concentración de quitosano. Para el factor de almidón se obtuvieron concentraciones de 3%, 5% y 7% y para el factor de quitosano se obtuvieron concentraciones de 0%, 0.5%, 1% y 1.5%. Se hicieron combinaciones con cada condición obteniendo 12 formulaciones.

Los RC resultantes demostraron tener baja permeabilidad a los gases y al vapor de agua (Handayani et al., 2018). La textura de la gran mayoría de las formulaciones era firme con excepción de la que contenía 7% de almidón sin quitosano. Todas las formulaciones con quitosano conservaron un olor fresco mientras que las que no lo contenían comenzaron a oler a yuca fermentada. Se obtuvo una solubilidad en agua mayor al 50%, independientemente de la adición o ausencia de quitosano. Las que fueron adicionadas con quitosano y contenían un 5% de almidón de yuca tuvieron mayor capacidad de aumentar la vida útil de los productos alimenticios debido a sus propiedades de barrera y menor variación de color y pH (Maharsih et al., 2021).

La baja permeabilidad a gases y al vapor de agua de los RC a partir de cáscara de yuca podría reducir significativamente la tasa de respiración y la pérdida de agua de los alimentos, evitando que se descompongan y/o pierdan peso en un tiempo corto de almacenamiento (Handayani et al., 2018). Por otro lado, las

bacterias proteolíticas y gramnegativas crecen a un pH óptimo de 6.5 a 7.5, y debido a que todas las formulaciones están fuera de este rango, quedan protegidas de la contaminación de estos microorganismos (Maharsih et al., 2021). Las películas comestibles a partir de almidón de cáscara de yuca y quitosano lograron conservar en mejores condiciones las muestras en las que se probó, aumentando su vida útil y beneficiando su apariencia para promover su adquisición por parte de los consumidores (Apriyani et al., 2020).

b) PC y RC a partir de subproductos de papa.

La papa (*Solanum tuberosum*) es de las verduras más consumidas por el ser humano. Contiene carbohidratos, proteínas, fibra, vitaminas y minerales. Los 3 carbohidratos presentes en el tubérculo son almidones, azúcares y fibra. Una porción de papa contiene 26 g de carbohidratos o almidones, 2 g de fibra dietética y 1 g de azúcares. El almidón presente suele estar formado por 20% amilosa y 80% amilopectina. Una porción de papa contiene también 2 g de fibra dietética aproximadamente y 3 g de proteína. A pesar de que la cantidad de proteína es baja, se considera de alta calidad ya que suele contener aminoácidos esenciales y cuenta con buena digestibilidad. Los aminoácidos contenidos en la papa son principalmente lisina, metionina, treonina y triptófano. Las papas no contienen grasas, por lo que se consideran saludables para el corazón (Stark et al., 2020)

Tammineni et al. (2013) utilizaron cáscara de papa para fabricar películas con aceite esencial de orégano para proveerlas con actividad antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes*. El orégano (*Origanum vulgare*) suele utilizarse en la cocina para preparar carnes, embutidos, ensaladas, guisos, aderezos y sopas. Se suele extraer aceite y resina para ser utilizada en alimentos y bebidas y también en la industria cosmética. Es rico en vitaminas y caroteno. También es rico en minerales como potasio, calcio, magnesio, fósforo, zinc, manganeso, hierro, cobre, azufre, mientras que mantiene su contenido en sodio bajo. Su contenido energético y graso es relativamente bajo. Es eficaz como antioxidante y rico en flavonoides y compuestos fenólicos. El orégano también ha sido utilizado en el ámbito de la medicina como antiséptico, expectorante y espasmolítico. Se realizaron diversos

estudios donde se puso a prueba la proliferación de microorganismos en el orégano y se encontró que éste tiene propiedades antimicrobianas (Kintzios, 2012). La formulación para las películas de Tammineni et al. (2013) contenía 3% de cáscara de papa, glicerol al 30% como plastificante y aceite esencial de orégano al 78%. Se formaron películas de 201 cm^2 de superficie con radio de 8 cm. Se observó que el espesor de las películas es inversamente proporcional a la cantidad de aceite añadido. El aceite de orégano disminuyó la cristalinidad de las películas y modificó la transición vítrea lo que pudo afectar otras propiedades físicas. La permeabilidad al vapor de agua disminuyó con la adición de aceite debido a que el aceite tiene una naturaleza hidrofóbica, esto podría reducir la tasa de movilidad de agua a través de la película. La actividad antimicrobiana aumentó con forme incrementó la cantidad de aceite esencial. Lo anterior puede deberse al carvacrol, principal compuesto en el orégano y que desestabiliza la membrana citoplasmática de las bacterias. Por otra parte, el orégano es utilizado comúnmente en varias recetas, por lo que si otorgara un ligero sabor a los alimentos recubiertos con estas películas podría no ser percibido como desagradable.

c) PC y RC a partir de subproductos de tuna.

Las plantas del género *Opuntia* se han utilizado a lo largo de los años en el campo de la medicina. Se tiene registro que su cantidad de antioxidantes, como polifenoles, betalaninas y vitamina C es elevada. Además, contiene minerales importantes como él potasio, calcio, sodio, hierro, magnesio, manganeso y zinc. El género también suele contener ácidos orgánicos, aminoácidos y ser rico en azúcares. La tuna (*Opuntia ficus-indica*) presenta 3 variedades: verde, amarilla y roja. A partir de su pulpa se elaboran jugos, jaleas, queso, mieles y algunos colorantes alimenticios (Jorge & Troncoso, 2016). La tuna es una fuente importante de hidrocoloides como mucílagos, pigmentos como carotenoides y betalaínas, minerales como potasio y calcio, fibra y vitamina C (esta última solicitada por sus propiedades antioxidantes). De la tuna se pueden extraer muchos compuestos que pueden ser utilizados en la industria alimenticia como farmacéutica y cosmética (Olivero et al., 2014)

El mucílago es un hidrocoloide con galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa y otros azúcares. Es utilizado como remedio natural para el control de la glicemia, para protección de la mucosa gástrica, como analgésico, antiinflamatorio y antiviral. También es utilizado para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados o coliformes fecales. Se ha utilizado también en la industria de la construcción agregándolo a la cal como adhesivo natural. En la agricultura se ha visto que puede mejorar la filtración del agua al suelo. Es utilizado también como sustituto de grasas, potenciador de sabores y como emulsificador (Vargas-Rodríguez et al., 2016).

Ayquipa (2018) desarrolló películas comestibles utilizando cáscara de tuna *(Opuntia ficus-indica)* para obtener mucílago y cáscara de papa para obtener almidón, ingredientes principales para la fabricación de sus películas. Se realizaron 6 formulaciones por triplicado variando los mililitros de mucilago y los gramos de almidón agregados. La formulación uno (F1) contenía 20 ml de mucílago y 2 g de almidón, la formulación 2 (F2) 15 ml de mucílago y 2 g de almidón, la formulación 3 (F3) 10 ml de murciélago y 1 g de almidón, la formulación cuatro (F4) 10 ml de mucílago y 2 g de almidón, la formulación 5 (F5) 15 ml de mucílago y 1.5 g de almidón y la formulación 6 (F6) 10 ml de mucílago y 1.5 g de almidón. El porcentaje de solubilidad en agua varió de 50% a 63%. Las películas con menor porcentaje de solubilidad contenían 1.5 g de almidón ya que probablemente no hubo una buena cohesión entre los ingredientes. La formulación 6 presentó mayor porcentaje de humedad y menor porcentaje de solubilidad en comparación con la formulación 1 debido a que tiene mayor cantidad de mucílago. El mucílago es capaz de formar películas con la habilidad de retener agua y conservar por un periodo más largo los componentes humectantes. Se observó que la permeabilidad al vapor de agua es inversamente proporcional a la cantidad de mucílago agregado en las formulaciones ya que esta propiedad se atribuye a la capacidad que tiene el mucílago de absorber agua. Se concluyó que la opacidad y la densidad dependen del grosor de la película, mientras que la humedad, permeabilidad, capacidad de retención de agua y solubilidad dependen de la formulación. Las películas tuvieron buenos valores en

cuanto a permeabilidad al vapor de agua lo que indica su posible aplicación en alimentos dándole un valor agregado a los desperdicios de tuna y papa.

e) PC y RC a partir de subproductos de nopal.

Espino-Díaz et al. (2010) desarrollaron una película a partir de mucílago de nopal. Los componentes de las películas fueron el mucílago, glicerol y agua destilada en proporciones 2:1:50 respectivamente. Se agregó cloruro de calcio a la mitad de las películas, en una concentración del 30% respecto a la masa del mucílago. Se obtuvieron ocho variantes de la formulación modificando el pH (4, 5.6, 7 y 8) y agregando o no calcio. Las películas resultaron uniformes, lisas y translúcidas. Las películas con calcio fueron más gruesas en comparación con las películas sin calcio. Las películas presentaron una luminosidad alta dentro de los rangos amarillo - verde en la escala de color. Las películas con pH más bajo presentaban una coloración amarilla más clara mientras que las películas con pH más alto eran de un color amarillo verdoso y más opacas. La coloración se modificó dependiendo del pH y también del calcio, presentando un color más brillante en películas sin calcio. Las películas con calcio presentaron mayor permeabilidad al vapor de agua en comparación con las que no tenían este componente. Lo anterior podría deberse a que el tamaño de las partículas de mucílago en las películas sin calcio es más grande, lo que podría significar una molécula más extendida, propiciando la formación de una red más compacta y ordenada obstruyendo el movimiento de las moléculas a través de la película. El calcio forma enlaces que inmovilizan las moléculas del mucílago, por lo que las películas sin calcio formaron estructuras compactas fuertes y mejor organizadas. Se concluyó que el mucílago de nopal es un compuesto interesante para la formación de películas comestibles sin agregar calcio, sin embargo, se podría mejorar la formulación.

10.1.3 Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de origen animal

En general las películas y recubrimientos comestibles fabricadas a partir de proteínas suelen tener buena estabilidad mecánica, además son biodegradables y compostables. Se suelen añadir polisacáridos para controlar la transmisión de

gases o compuestos oleosos para aumentar la hidrofobicidad. Las PC y RC basados en proteínas se suelen fabricar de recursos como la caseína, el suero de la leche, colágeno, queratina o albúmina de huevo. Además de la fuente de proteína se suele añadir un plastificante y un solvente en las formulaciones (Da Rosa et al., 2014). Las PC y RC a partir de subproductos de origen animal citadas en el presente trabajo se muestran en la Tabla 3. En la misma se puede observar que las fuentes más utilizadas para la elaboración de PC y RC a partir de subproductos de origen animal son los residuos lácteos y de pescado. Sin embargo, los subproductos de origen animal no son tan empleados para la elaboración de PC y RC o su elaboración es reciente, por lo que no hay demasiados trabajos con detalle de sus beneficios cuando se aplican sobre algún producto.

Tabla 3: Películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de origen animal (elaboración propia, 2021).

Fuente	Características	Autores
Subproductos de pescado (*Micropogonias furnieri*)	-Gruesas -Baja solubilidad en agua -Coloración amarilla -Resistentes -Baja permeabilidad al vapor de agua	Da Rosa et al., 2014
Aislado de proteína de suero lácteo	-Bajo contenido de humedad -Actividad antimicrobiana -Buenas propiedades de barrera -Baja permeabilidad al vapor de agua -Resistentes -Elásticas	Mohammadian et al., 2021

a) PC y RC a partir de subproductos de pescado.

Da Rosa et al. (2014) desarrollaron películas comestibles a partir de residuos de corvina de boca blanca (*Micropogonias furnieri*) para darle valor agregado a los desperdicios provenientes de la pesca. Para preparar las películas se hicieron 3 suspensiones de proteína: a 3, 4 y 5%; se ajustó el pH a 11 y se agregó glicerol como plastificante. La viscosidad de la solución formadora incrementó conforme aumentó la concentración de la proteína. Las películas con más proteína eran más gruesas con valores de entre 0.132 y 0.230 mm. El grosor de las películas relacionado con la cantidad de proteína presente en la disolución puede deberse a que, al haber más sólidos en la matriz, ésta incrementa el grosor de las películas biodegradables. Después de sumergir las películas durante 24 horas en agua, se pudo observar que se encontraban intactas, por lo que su solubilidad en agua fue mínima. Los valores de luminosidad aumentaron conforme la concentración de proteína disminuía. Las películas presentaron un color amarillo más intenso en relación con la cantidad de proteína. Se observó una relación directa entre la concentración de proteínas y la resistencia de las películas, esto debido al aumento de enlaces covalentes formando películas más resistentes. La permeabilidad al vapor de agua fue menor en las películas con mayor concentración de proteínas, ya que existe la presencia de aminoácidos hidrofílicos y los plastificantes como el glicerol también presentan esta característica.

b) PC y RC a partir de subproductos lácteos.

El aislado de proteínas de suero es un subproducto de las industrias, principalmente las queseras, que cuentan con excelentes propiedades para la fabricación de películas. Tiene la capacidad de formar películas con buenas propiedades mecánicas y de barrera y con gran capacidad para transportar compuestos activos (Mohammadian et al., 2021). Las proteínas, incluyendo las de la leche, son de los biopolímeros más empleados para la encapsulación de compuestos bioactivos. Además, cuentan con estabilidad nutricional lo que la convierte en excelente matriz para la fabricación de PC. La proteína de suero consta de proteínas globulares compactas, principalmente β-lactoglobulina (aproximadamente un 50%) y α-

lactoalbúmina (alrededor de un 20%). La desnaturalización de la proteína de suero ocurre a temperaturas de 55 °C. La α-lactoalbúmina es el componente más termoestable de los constituyentes de las proteínas de suero (Khem et al., 2016).

Mohammadian et al. (2021) desarrollaron películas comestibles a partir de aislado de proteína de suero con aceite esencial de hoja de ortiga. Una hoja de ortiga (*Urtica dioica L.*) es un alimento nutritivo, fácil de digerir, rico en minerales, vitamina C y provitamina A. Puede afectar de manera positiva a las proteínas y al metabolismo de lípidos para mejorar su rendimiento. Ha sido utilizada desde hace muchos años por sus propiedades analgésicas potentes y eficaces. También se ha demostrado que tiene efecto en la reducción de radicales libres. Es bien sabido que el extracto de esta planta tiene propiedades antifúngicas y antimicrobianas. Tiene un alto contenido en clorofila y carotenoides como β-caroteno, xantofila, epóxido de luteína, entre otros (Dhouibi et al., 2019). El grosor de las películas de Mohammadian et al. (2021) incrementó con respecto a la incorporación de extracto de hoja de ortiga. Se observaron comportamientos similares en cuanto al contenido de humedad, permeabilidad al vapor de agua y la solubilidad de agua. Ya que conforme aumentaba la concentración de extracto disminuían estas propiedades. El cambio en el contenido de humedad, en la solubilidad y en la permeabilidad al vapor de agua podría deberse a que los compuestos activos del extracto forman enlaces de hidrógeno en sitios hidrofílicos de la proteína de suero, restringiendo la interacción entre el agua y la proteína. La fuerza de tensión es inversamente proporcional a la incorporación de extracto de hoja de ortiga contrario a la capacidad de elongación. Se obtuvieron superficies libres de poros, pero con algunas cuarteaduras. El contenido de antioxidantes aumentó con la concentración de extracto, lo que indica un alto contenido de compuestos fenólicos en la hoja de ortiga. Las muestras con ortiga mostraron zonas de inhibición contra *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* que aumentaron en relación directa con su concentración. La actividad antimicrobiana se debe a la presencia de compuestos fenólicos, triterpenos y flavonoides presentes en la hoja de ortiga.

10.2 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a partir de fuentes no convencionales

10.2.1 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de frutas

a) PC y RC a partir de subproductos de mango aplicados en duraznos, jitomates y manzanas.

Se han desarrollado diferentes formulaciones a partir de subproductos de mango para prolongar la vida útil de alimentos como duraznos (*Prunus persica*) (Torres-León et al., 2018), jitomates (*Solanum lycopersicum L.)* (Nawab et al., 2017) y manzanas (*Malus domestica*) (Rojas, 2018). Torres-León et al. (2018) emplearon un recubrimiento comestible elaborado a partir de cáscara y extracto de núcleo de semilla de mango para proteger duraznos (*Prunus persica*) maduros y sin daño físico. Se escogieron duraznos debido a que tienen una rápida maduración, por lo que funcionan como un buen modelo climatérico. Los duraznos fueron sumergidos en la preparación de mango que una vez seco, formó el recubrimiento (Figura 6). Nawab et al. (2017) probaron recubrimientos comestibles a partir de almidón de semilla de mango en jitomates (*Solanum lycopersicum L.)*. Se decidió trabajar con jitomates ya que presentan cierta sensibilidad al deterioro ambiental, por lo que es un buen modelo para probar PC y RC. En el fruto se llevan a cabo varias reacciones bioquímicas tales como la producción de etileno. Además, tiene una elevada velocidad de respiración. Estas reacciones aceleran el proceso de maduración y la senescencia y disminuyen su viabilidad postcosecha afectando sus características de olor, color y textura que son los factores más valorados en el mercado (Basso et al., 2018). Para probar las películas de Nawab et al. (2017), los jitomates se dividieron en cuatro grupos de 30 y a cada grupo se le aplicó una formulación diferente: al primer grupo se le aplicó una formulación con harina de mango y glicerol como plastificante, al segundo grupo con sorbitol como plastificante, al tercer grupo con una combinación 1:1 de los plastificantes y el cuarto grupo se le conservó sin recubrimiento a modo de control. En otro trabajo de RC, Rojas (2018) recubrió rodajas de manzana gala (*Malus domestica*) con recubrimientos elaborados con cáscara de mango Manila. Las manzanas se dividieron en tres grupos y se aplicó el

recubrimiento por el método de sumersión en 3 formulaciones diferentes: la primera sin la incorporación de cáscara de mango, la segunda con 2% de harina de cáscara y la tercera con 4%.

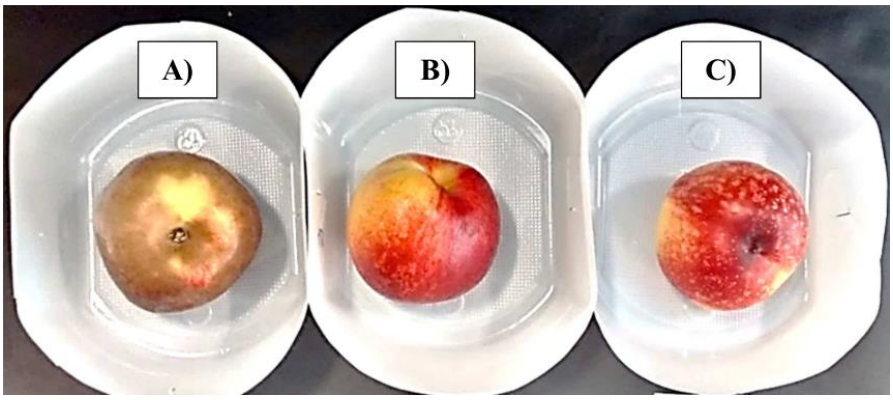

Figura 6: (A) Duraznos sin recubrimiento. B) Duraznos con recubrimiento y extracto de semilla de mango. C) Duraznos con recubrimiento sin extracto de semilla de mango (Torres-León et al., 2018).

Los recubrimientos de mango permitieron un bajo intercambio gaseoso entre los alimentos y el ambiente. La producción de CO_2 fue mayor que el consumo de O_2, lo que indica que el balance de gases no fue afectado, pero sí la velocidad del intercambio. Se redujo la producción de CO_2 en un 29% y el consumo de O_2 en un 39% comparado con los productos sin recubrimiento. La producción de etileno durante el almacenamiento se redujo en un 64% disminuyendo la senescencia de la fruta (Torres-León et al., 2018). Cabe mencionar que el etileno es un gas que actúa como una fitohormona beneficiando la maduración de las plantas y frutos. Por otro lado, induce efectos indeseados para su comercialización, por ejemplo, el cambio de color hacia la decoloración y de textura hacia el ablandamiento, desembocando así en la disminución de la vida de anaquel (Basso et al., 2018). Los jitomates con recubrimiento de cáscara de mango llegaron a perder entre un 8 y un 11% de su peso inicial, mientras que, en condiciones normales, se pierde un aproximado del 13%. Por otro lado, se presentó una significativa reducción en la velocidad del proceso de descomposición. Los mejores resultados en este ámbito fueron los obtenidos en los jitomates con recubrimiento con sorbitol como

plastificante, que estaban libres de hongos incluso después de 18 días de almacenamiento (Nawab et al., 2017). Rojas (2018) observó un cambio en la firmeza de las manzanas obteniendo rodajas menos flexibles en relación con la adición de cáscara de mango. Lo anterior se asocia con que las moléculas del recubrimiento interaccionaron con los tejidos de la fruta confiriéndole más firmeza a las rodajas recubiertas que a las que no lo estaban.

El recubrimiento comestible a partir de cáscara de mango con antioxidantes de su semilla tiene un efecto en la prolongación de la vida de anaquel de las frutas recubiertas ya que disminuye la tasa de respiración y evita en deterioro por microorganismos y enzimas propias de la fruta (Torres-León et al., 2018). La cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides presentes aumenta con forme la adición de cáscara de mango en los recubrimientos, siendo los alimentos recubiertos con 4% de polvo de mango los que presentan mayor capacidad antioxidante. Los RC con cáscara de mango no afectan el pH de los alimentos recubiertos (Rojas, 2018). Además, actúan como una barrera semipermeable ante el intercambio gaseoso y la humedad, disminuyendo la respiración y la transmisión del vapor de agua. También proveen una barrera ante el intercambio gaseoso, disminuyendo la actividad enzimática y previniendo el deterioro en la pared celular de los productos (Nawab et al., 2017).

b) PC y RC a partir de subproductos de piña aplicados en plátanos y carne.

Algunos alimentos como los plátanos suelen transportarse mientras aún están verdes para que cuando lleguen al mercado se encuentren en las mejores condiciones posibles. Sin embargo, muchas veces el transporte y la manipulación por parte de los operarios dañan su apariencia, lo que afecta su posibilidad de ser comercializada. Su comerciabilidad y vida útil puede ser prolongada con la aplicación dale un recubrimiento o película comestible sobre la piel del plátano (Bhattacharjee et al., 2020). Por otro lado, los alimentos hortofrutícolas no son los únicos que pueden ser protegidos con películas o recubrimientos comestibles, ya que también se han protegido alimentos cárnicos con este tipo de empaques. Lo anterior debido a que para evitar que los productos cárnicos se echen a perder se

suelen utilizar combinaciones de empaquetado sintéticos simples o con algún aditivo como antioxidantes. Sin embargo, la adición de antioxidantes sintéticos en los empaques para los cárnicos puede acarrear consecuencias negativas para la salud humana. Es por esto que se está investigando cada vez más en hacer empaques más amigables con el medio ambiente y antioxidantes naturales que no sean riesgosos para el ser humano (Lourenço et al., 2020).

Considerando lo anterior, se han diseñado PC y RC a base de cáscara de piña para proteger plátanos (*Musaceae*) (Bhattacharjee et al., 2020) y carne de ternera comercial (Lourenço et al., 2020). Bhattacharjee et al. (2020) dividieron su muestra de plátanos en 3 grupos: el primero sin recubrimiento para tenerlo como control, el segundo con un recubrimiento que contenía carboximetilcelulosa obtenida de la corona de la piña y el tercer grupo con una fórmula con carboximetilcelulosa estándar. Para aplicar el recubrimiento utilizaron brochas de pintura y se esparció sobre los plátanos. Lourenço et al. (2020) realizaron cuatro formulaciones de películas comestibles para proteger productos cárnicos de la oxidación. La formulación uno fue a base de alginato con extracto de cáscara de piña, la segunda con jugo de cáscara de piña y la tercera con polvo de liofilización (el extracto y el jugo se encontraban en presentación de microcápsulas).

Como se puede observar en la Figura 7: el día cero todos los plátanos eran de color verde y para el octavo día, los plátanos del grupo control comenzaban a mostrar señales de degradación como la aparición de manchas negras en gran parte de su piel. Los plátanos recubiertos con la primera formulación muestran en la mayoría de su superficie una coloración amarilla, sin embargo, también presentan algunas manchas obscuras, aunque más pequeñas que en el control. Los plátanos recubiertos con la formulación 2 conservaron su coloración verde o mostraron signos de descomposición temprana. Después de todos los estudios, análisis y encuestas se llegó a la conclusión de que la formulación con carboximetilcelulosa proveniente de corona de piña fue la que al final del experimento conservo mejor la calidad de la fruta. (Bhattacharjee et al., 2020).

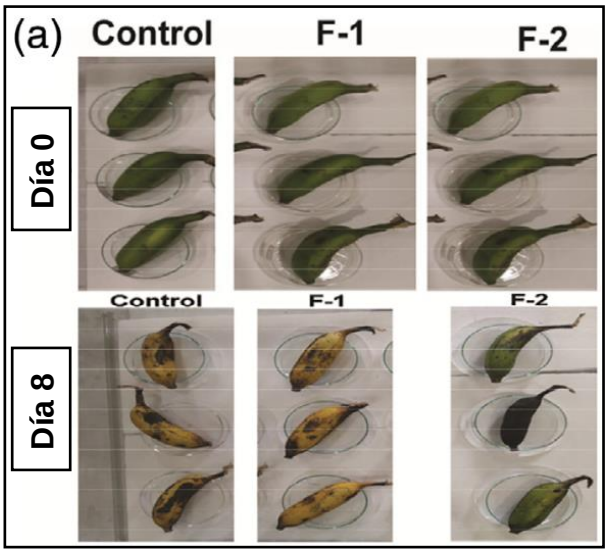

Figura 7: Cambio en las cáscaras de los plátanos después de 8 días. Se observan plátanos sin recubrir (Control), recubiertos con formula con carboximetilcelulosa proveniente de la corona de la piña (F-1) y con fórmula con carboximetilcelulosa estándar (F-2) (Bhattacharjee et al., 2020).

Los resultados de Lourenço et al. (2020) arrojaron que las muestras cubiertas mostraron tener una coloración más vibrante pasados los días en comparación con el control sin película como se muestra en la Figura 8. Lo anterior puede deberse a que los compuestos bioactivos presentes en las películas se liberan de manera paulatina debido a su naturaleza hidrofílica. Una vez liberados todos estos compuestos, se acumulan en los exudados de carne evitando su oxidación. Sin embargo, en el día 5 se puede observar el borde de color marrón por oxidación, esto debido a que conforme pasan los días, la película pierde adherencia en los bordes de la carne. La película que presentó mayor actividad antioxidante fue la fabricada con alginato y polvos de cáscara de piña liofilizada. El hecho de que la carne tenga un color rosa o rojo vibrante le otorga una apariencia más atractiva para el consumidor.

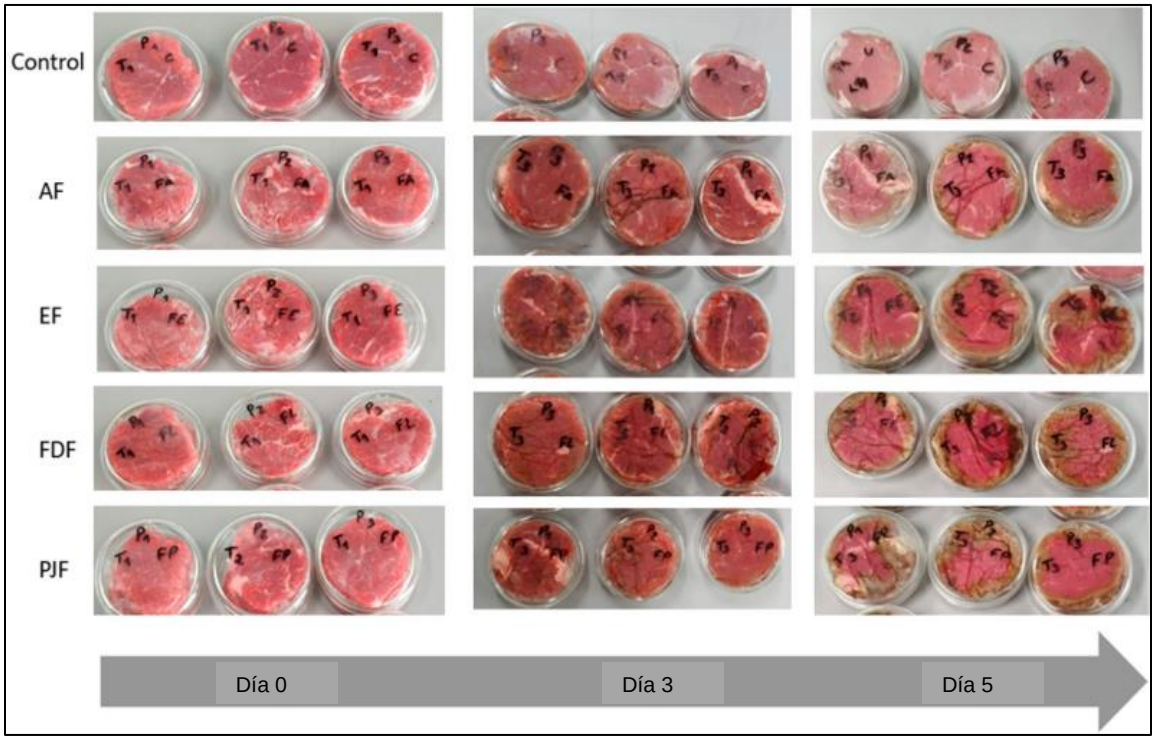

Figura 8: Muestras de carne sin película, cubiertas con PC de alginato con extracto de cáscara de piña (EF), con jugo de cáscara de piña (PJF), con polvo de cáscara de piña liofilizada (FDF) y sólo de alginato (AF) (Lourenço et al., 2020).

Proteger al plátano con algún recubrimiento comestible puede disminuir los cambios propios del metabolismo de la fruta. Los plátanos recubiertos con la formulación con carboximetilcelulosa proveniente de subproducto de piña perdieron alrededor de un 25% de su peso inicial. Mientras que las frutas con recubrimiento con carboximetilcelulosa estándar perdieron alrededor de un 36.5% de su peso inicial. La fruta recubierta con la formulación de cáscara de piña fue la que tuvo menos variación en cuanto a textura, seguida del control y finalmente la formulación dos (Bhattacharjee et al., 2020). Las películas de alginato sin piña demostraron tener un efecto prooxidante ya que la naturaleza cargada negativamente del alginato puede contribuir a la oxidación de los lípidos. Los compuestos antioxidantes de la piña pudieron contrarrestar el efecto pro oxidativo del alginato. Si las películas hubieran sido elaboradas a partir de algún compuesto sin capacidades oxidativas,

se hubiera tenido un mejor resultado en la actividad antioxidante de los compuestos de la cáscara (Lourenço et al., 2020).

c) PC y RC a partir de subproductos de limón aplicados en pepinos, tofu y fresas.

Se ha empleado la cáscara de limón para proteger alimentos como pepinos (*Cucumis sativus)* (Sakthi et al., 2021), tofu y fresas (*Fragaria ananassa*) (Rahmawati et al., 2017). Sakthi et al. (2021) desarrollaron un recubrimiento a partir de agar agar, leche de coco y extracto de piel de limón para probarlo en pepinos (*Cucumis sativus)*. Para lo cual se cubrió un extremo de los pepinos con la formulación y se dejó solidificar el recubrimiento. En la zona central se cubrieron con un medio inoculado con bacterias *E. coli y S. aureus*. El otro extremo se dejó libre a modo de control. Se midió el halo de inhibición que presentaron a los 15 días. Por su parte, Rahmawati et al. (2017) también probaron la actividad antimicrobiana de un RC con aceites esenciales obtenidos de la cáscara limón en tofu y fresas (*Fragaria ananassa*) frescas. Se recubrieron las muestras por inmersión con dos formulaciones: una con alginato de sodio y aceite esencial y otra con almidón de yuca y aceite esencial. Se realizaron 6 ensayos en total: 3 para tofu y 3 para fresa. Los ensayos para tofu consistían en una muestra con recubrimiento a partir de alginato de sodio sin aceite esencial, otra con recubrimiento de alginato de sodio con aceite esencial al 0.6% y otras sin recubrimiento. Los ensayos con fresas consistieron en una muestra con recubrimiento de almidón de yuca sin aceite esencial, otra con recubrimiento de almidón de yuca con aceite esencial al 1% y otra sin recubrimiento. Se inocularon con bacterias las muestras de tofu y con hongos las muestras de fresas para encontrar la velocidad de degradación con y sin recubrimiento.

Pasados los 15 días, se observaron halos de inhibición significativos demostrando una actividad antagónica contra microorganismos, lo que protege a los vegetales de la descomposición aún pasadas dos semanas expuestos al ambiente (Sakthi et al., 2021). Los recubrimientos con cáscara de limón demostraron tener mayor capacidad inhibitoria contra bacterias Grampositivas, debido a que éstas son más sensibles al aceite esencial en comparación con las

bacterias Gramnegativas. Lo anterior se debe a la composición en las paredes celulares de los microorganismos, ya que la mayoría de los aceites esenciales actúan alterando la membrana y el citoplasma, y como las bacterias Gramnegativas tienen una capa de lipopolisacárido formando una pared celular más compleja, se crea una barrera contra compuestos hidrófobos. Los recubrimientos tuvieron actividad inhibitoria contra *Rhizopus stolonifer* y *Botrytis sp*. Pasadas 48 horas y después de una prueba visual, las muestras recubiertas con aceite esencial no mostraban la presencia de mohos, pero sí un ligero cambio en la coloración de la fruta. (Rahmawati et al., 2017).

d) PC y RC a partir de subproductos de manzana aplicados en fresas.

Riaz et al. (2020) también protegieron fresas de la degradación, pero emplearon un recubrimiento a partir de quitosano y cáscara de manzana. Se hicieron cinco formulaciones de quitosano y cáscara de manzana en donde la variable era la concentración de la cáscara. Las concentraciones de las formulaciones fueron de 0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1% nombrándolas CS, CS-APP1, CS-APP2, CS-APP3 y CS-APP4 respectivamente. Las fresas se dividieron en 6 grupos de manera aleatoria. Se sumergió un grupo por formulación durante 30 segundos y se secaron durante 2 horas dejando un grupo libre a manera de control. Se pudo observar que las muestras sin recubrimiento perdieron cerca del 25% de su peso inicial, mientras que las muestras recubiertas perdieron entre un 10 y un 15%. Las muestras sin recubrimiento se deterioraron en un 96%, mientras que las muestras con recubrimiento 60% (Figura 9). En cuanto a la firmeza de las muestras, todas presentaron decaimiento, siendo el control el que perdió mayor firmeza, por otra parte, los recubrimientos con cáscara de manzana en general demostraron mejores resultados en comparación con el recubrimiento sólo con quitosano.

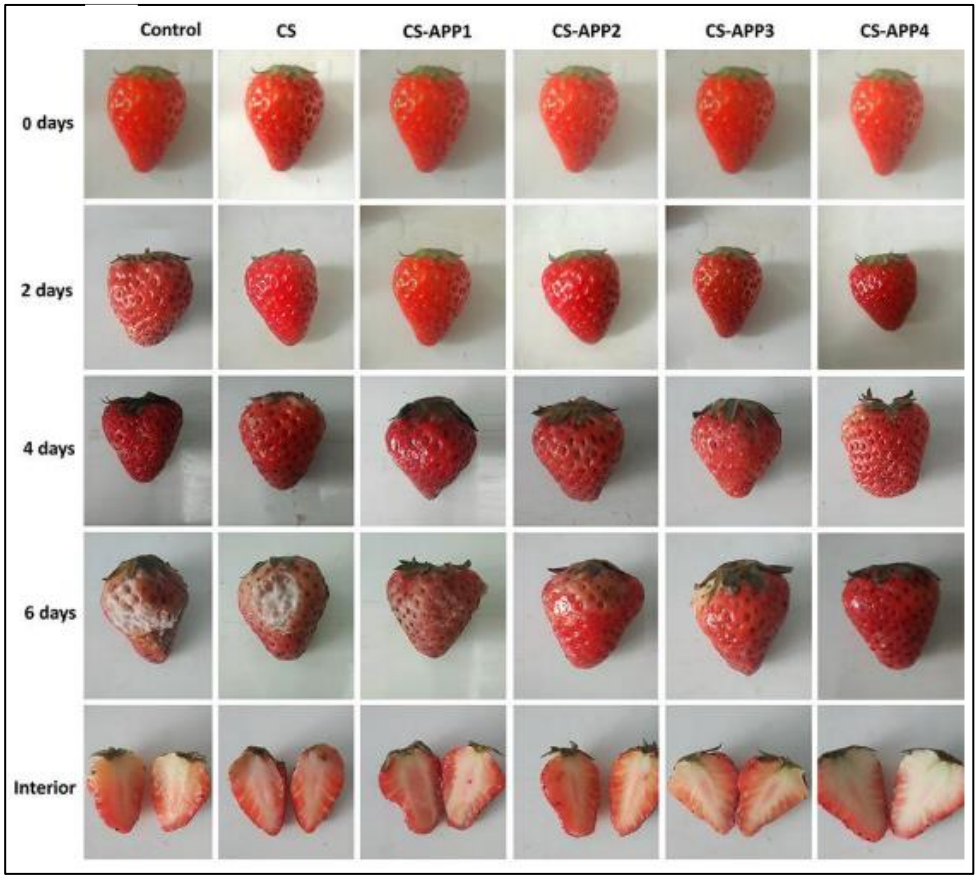

Figura 9: Fresas con recubrimiento comestible a partir de quitosano y 0% de cáscara de manzana (CS), 0.25% de cáscara (CS-APP1), 0.50 % de cáscara (CS-APP2), 0.75% de cáscara (CS-APP3) y 1% (CS-APP4) de cáscara de manzana (Riaz et al., 2020)

10.2.2 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a partir de subproductos de vegetales

a) PC y RC a partir de subproductos de yuca aplicados en aguacates, piñas y naranjas.

Handayani et al. (2018) desarrollaron un recubrimiento comestible a partir de almidón de cáscara de yuca y hoja de laurel para proteger aguacates maduros. Ya que el aguacate (*Persea americana*) es una fruta climatérica que pierde su resistencia a la maduración uno o dos días después de ser cosechada. Para alcanzar un nivel de maduración óptimo se requiere de 5 a 7 días a temperatura ambiente. Durante ese tiempo hay un aumento en la producción de etileno y en la

tasa de respiración. Cabe mencionar que se han implementado diversas técnicas biotecnológicas para controlar su maduración, preservando sus cualidades y previniendo el pardeamiento enzimático. Una de las alternativas para retrasar su descomposición es la aplicación de películas y recubrimientos comestibles (Araújo et al., 2018). Los aguacates se recubrieron por medio de la técnica de inmersión en tres formulaciones diferentes: una con extracto de hoja de laurel al 3%, otra al 4% y la tercera al 5% (Handayani et al., 2018). Por su parte Maharsih et al. (2021) también emplearon recubrimientos comestibles a partir de cáscara de yuca. El objetivo de sus formulaciones era proteger piña de la degradación. Las piñas frescas se cortaron en cubos de 3 x 3 x 3 cm y se sumergieron en 6 diferentes formulaciones de recubrimiento: dos con concentración de 3% de almidón de yuca, dos al 5%, y dos al 7%, agregándole quitosano a una de cada concentración. Apriyani et al. (2020) también desarrollaron un recubrimiento a partir de yuca con quitosano. Estaban interesados en proteger una variedad de naranja *(Citrus nobilis sp.)* proveniente de la india que se deteriora fácilmente principalmente a temperatura ambiente. Por lo que pensaron en un recubrimiento comestible antimicrobiano fabricado con almidón. Las naranjas se sumergieron en 12 formulaciones por triplicado combinando diferentes concentraciones de almidón (al 3%, 5% y 7%) y de quitosano (al 0%, 0.5%, 1% y 1.5%).

Los frutos con recubrimiento tuvieron un porcentaje de pérdida de peso de entre 12 y 15% mientas que los que no estaban recubiertos perdieron entre un 16 y 18% de su peso inicial (Handayani et al., 2018). Sin embargo, los que contenían mayor cantidad de almidón de cáscara de yuca perdieron menos en comparación con las otras muestras. Los resultados en cuanto a pérdida de peso mostraron que los recubrimientos a partir de almidón de yuca tienen mejores efectos en comparación con recubrimientos de otras fuentes (Apriyani et al., 2020). Los recubrimientos comestibles bloquearon la interacción alimento-oxígeno y el intercambio de vapor de agua evitando que las células de las frutas perdieran turgencia. El recubrimiento puede retrasar el cambio en la coloración de la superficie de la muestra evitando la degradación de la clorofila. Las muestras con recubrimiento de yuca con laurel al 5% demostraron tener una mejor protección

contra el enranciamiento, siendo el mejor tratamiento para mantener la calidad del producto (Handayani et al., 2018). Las frutas con recubrimiento mostraron menos variación de pH pasados los días de almacenamiento. Los resultados indican que las películas comestibles a partir de almidón de yuca tienen propiedades que ayudan a conservar la calidad de los alimentos por más tiempo (Maharsih et al., 2021).

b) PC y RC a partir de subproductos de papa aplicados en salmón ahumado.

El salmón ahumado es un alimento que se vende listo para su consumo, sin embargo, sus características de pH, salinidad y actividad de agua lo hacen susceptible a que proliferen microorganismos como *Listeria monocytogenes*. Es por ello por lo que se probaron películas comestibles con actividad antimicrobiana fabricadas a partir de cáscara de papa y aceite esencial de orégano. Las muestras de salmón se envolvieron en su totalidad con las PC y posteriormente se retaron contra cepas conocidas de *L. monocytogenes* en 25-30 puntos sobre el filete. Se dejaron unas muestras inoculadas y otras sin inocular sin recubrimiento para que fungieran el papel de controles. Pasados los días se pudo observar una disminución en la cantidad de UFC's de *Listeria* sobre las muestras de salmón. Se concluyó que las películas comestibles a partir de cáscara de papa con aceite esencial de orégano pueden proteger los mariscos y posiblemente otros productos inhibiendo el crecimiento de *L. monocytogenes* (Tammineni et al., 2013).

10.3 Películas y recubrimientos comestibles incorporados con probióticos

Recientemente ha aumentado la demanda de alimentos funcionales y la adición de probióticos se considera una de las principales formas de obtenerlos (Kumar et al., 2020). La acción de microorganismos como probióticos se puede encontrar en diversos productos, como en la fermentación de bebidas y alimentos. Los probióticos tienen la característica de sobrevivir al paso por el tracto digestivo, cumpliendo sus funciones aún en las condiciones del interior del cuerpo. Tienen una alta tolerancia al ácido estomacal y a la bilis, se adhieren de manera eficiente a la superficie del epitelio gastrointestinal y tienen actividad antagónica contra algunos patógenos intestinales (Ramos et al., 2013). Los probióticos actúan a lo largo del

intestino afectando la microbiota y la permeabilidad intestinal. También afectan a otros órganos interviniendo de manera positiva en el sistema inmune y produciendo metabolitos de regulación (Chiang & Pan, 2012). Se han adicionado residuos hortofrutícolas para incrementar la actividad biológica en alimentos con probióticos. En algunos casos se ha conseguido potenciar el crecimiento de algunos lactobacilos y mejorar las propiedades reológicas de los productos (Kumar et al., 2020). Las bacterias utilizadas más frecuentemente en alimentos son los *Lactobacillus* y *Bifidobacterias*, sin embargo, también se pueden encontrar *Saccharomyces* en algunos productos de consumo diario (Espitia et al., 2016). Los probióticos también suelen añadirse a matrices poliméricas comestibles junto con otros compuestos activos para formar empaques bioactivos para alimentos (Otoni et al., 2016).

Para que los probióticos puedan cumplir su función en el organismo es necesario que su actividad metabólica se mantenga, resistiendo la cadena de procesamiento de alimentos en el tracto digestivo. El método más estudiado para garantizar la eficacia de los alimentos con probióticos es la microencapsulación (Espitia et al., 2016). La microencapsulación consiste en contener compuestos funcionales en microcápsulas de un material encapsulante. Cuando se aplica la microencapsulación a probióticos se procura que los microorganismos reduzcan su interacción con el entorno y se prevenga su degradación (Vieira da Silva et al., 2016). Los métodos de encapsulación incluyen secado por spray, electrospraying, extrusión, vortex, coacervación y emulsión (Espitia et al., 2016).

Las bacterias ácido-lácticas han sido empleadas en suplementos alimenticios debido a sus propiedades probióticas (Ramos et al., 2013). Las especies del género *Lactobacillus* son de los microorganismos pertenecientes a las bacterias ácido-lácticas más importantes. Están involucrados en la nutrición humana, sin mencionar que algunas cepas son empleadas en el desarrollo de vacunas. Forman parte de la microbiota normal en agua, suelo, boca, intestino grueso y genitales en humanos y varios animales. Los miembros del género *Lactobacillus* son bacterias grampositivas, catalasa negativa que producen ácido láctico como producto principal de su metabolismo de carbohidratos. Los lactobacilos son generalmente

anaeróbicos o aerotolerantes y además de ácido láctico también producen compuestos como acetato, etanol y CO_2 (Salvetti et al., 2012). Debido a sus aplicaciones terapéuticas, biotecnológicas y en alimentos, los lactobacilos tienen una importancia económica notable (Duar et al., 2017).

El género *Lactobacillus* se clasifica en tres grupos: El grupo A con especies estrictamente homofermentativas, el grupo B que incluye especies hetero fermentativas facultativas y el grupo C únicamente con especies estrictamente hetero fermentativas. *Lactobacillus plantarum* se clasifica en el grupo B. Estas bacterias fermentan hexosas y pentosas produciendo ácido láctico y acético (Todorov & de Melo Franco, 2010). Se encuentran en vegetales, carne, tracto gastrointestinal, vaginal y urogenital. Suelen emplearse en productos como queso, kéfir, productos de carne fermentada, vegetales fermentados y bebidas como el vino (Seddik et al., 2017). Aplicada en productos como el queso, *L. plantarum* puede tener efectos benéficos como la degradación de citrato. Además, incluir esta bacteria en la preparación de productos de origen animal o vegetal puede ayudar a controlar a otros microorganismos que favorezcan la degradación del producto (Todorov & de Melo Franco, 2010). *L. plantarum* es considerada segura para consumo humano de acuerdo con autoridades como la FDA. Además, se ha observado que puede influir en el decremento de colesterol en sangre, así como inhibir el crecimiento de *E. coli* induciendo la permeabilidad intestinal. Por otra parte, *L. plantarum* también puede beneficiar a pacientes con enfermedad de Crohn, colitis ulcerativa y síndrome de intestino irritable ayudando contra la inflamación y el dolor abdominal (Seddik et al., 2017). Al mismo tiempo, además de proveer balance a la microbiota intestinal, tiene efecto hipocolesterolémico (Chiang & Pan, 2012).

Se han desarrollado PC incorporando *L. plantarum* para observar sus características y evaluar su viabilidad. La razón de adicionar *L. plantarum* a las películas comestibles es que esta bacteria cuenta con una alta resistencia a valores bajos de pH y presenta actividad antimicrobiana (Zabihollahi et al., 2020). Por lo anterior, Shahrampour et al. (2020) incorporaron estos probióticos a películas comestibles a base de alginato y pectina en diferentes concentraciones con glicerol

o sorbitol como plastificantes. Li et al. (2020) valoraron los efectos de adicionar *Lactobacillus*, carboximetilcelulosa de sodio (CMC) y glicerina en las propiedades de películas comestibles a partir de almidón de yuca (CS). Por otra parte, Zabihollahi et al. (2020) mencionan que los empaques comestibles a partir de carboximetilcelulosa en ocasiones muestran propiedades de barrera deficientes. Por lo que propusieron incorporar agentes bio activos para modificar su funcionalidad. Desarrollaron películas comestibles a partir de carboximetilcelulosa, inulina y nano fibra de celulosa a las que incorporaron *Lactobacillus plantarum.*

Shahrampour et al. (2020) emplearon *L. plantarum* KMC45 en cinco formulaciones variando la cantidad de pectina y de alginato (Figura 10). Zabihollahi et al. (2020) emplearon nano fibra de celulosa a diferentes concentraciones (0, 2.5 y 5 g por cada 100g de CMC). Se agregó solución de inulina al 20% a una formulación con cada concentración de nano fibra. Se agregó glicerol y finalmente se inoculó *L. plantarum*. Se cubrieron muestras de pollo fresco con las películas que incluían o no a *L. plantarum*. Li et al. (2020) probaron con 9 formulaciones variando la cantidad de inóculo utilizado. Por cada 100 g de preparación, se agregaron 0.5, 1, 1.5 y 2 g de *L. plantarum* (LPL) y *P. pentosaceus* (PPE) en polvo (Figura 11). Se probaron las películas en plátanos para evaluar sus efectos de barrera y propiedades antioxidantes. Se emplearon plátanos para probar las películas debido a que la actividad de su polifenol oxidasa es alta.

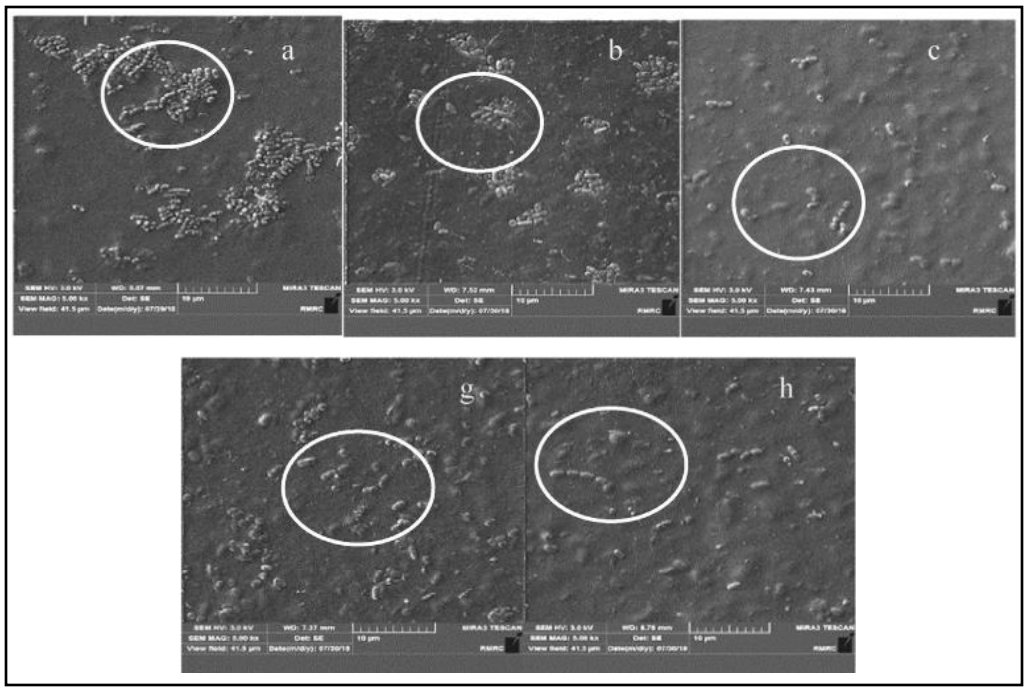

Figura 10: Superficie de películas comestibles adicionadas con probióticos. a: Película de alginato, b: película de pectina, c: película con 50% alginato y 50% pectina, g: película con 75% alginato y 25% pectina y h: película con 25% alginato y 75% pectina. Los círculos blancos indican las bacterias (Shahrampour et al., 2020)

Como se mencionó anteriormente, las películas de carboximetilcelulosa no suelen tener propiedades mecánicas muy favorables. Sin embargo, se les pueden adicionar compuestos que provoquen cambios en la estructura de la matriz. Por ejemplo, si se agrega 2.5% de nano fibra y 20% de inulina se pueden conseguir películas más gruesas, resistentes y rígidas (Zabihollahi et al., 2020). La densidad de las PC se ve proporcional y directamente afectada por la adición de *L. plantarum* (Li et al., 2020). El espesor en las películas también se puede modular con la adición de pectina, ya que, a mayor concentración de pectina, mayor espesor en las películas. Lo anterior puede deberse a que la pectina tiene la propiedad de absorber y retener agua. Las películas con mayor cantidad de pectina suelen tener mayor contenido de humedad (Shahrampour et al., 2020). La estructura de las películas con *L. plantarum* presenta mayor densidad y grado de compactación indicando mayor integridad estructural y mejor compatibilidad con los componentes (Li et al.,

2020). Por otra parte, el contenido de humedad en los productos finales también se puede regular adicionando *L. plantarum,* pues las PC con *L. plantarum* suelen contener una menor cantidad de humedad que las que no han sido adicionadas con microorganismos. Además, las películas que contienen *L. plantarum* en su formulación suelen ser más gruesas que las que no los contienen (Shahrampour et al., 2020). A pesar de que las PC pueden presentar rugosidades producto de la gelatinización incompleta de alguno de sus componentes como el almidón, la adición de *L. plantarum* también puede ocasionar que no se obtenga una textura uniforme. Después de la adición de probióticos, se observa un incremento en la rugosidad de las PC directamente relacionada con la concentración del inóculo (Li et al., 2020).

La solubilidad de las películas puede mejorar con la adición de alginato en las formulaciones, sin encontrarse diferencia entre las que contienen probióticos y las que no. El alginato también provee a las películas de una baja permeabilidad al vapor de agua, mientras que componentes como la pectina otorgan un valor más alto (Shahrampour et al., 2020). Los valores de permeabilidad al vapor de agua son menores en las películas con probióticos, probablemente debido a que se forman mejores interacciones entre los organismos y la matriz que los contiene (Li et al., 2020). Además, las películas con microorganismos presentan mejores propiedades de barrera, esto debido a que las bacterias reducen el espacio intermolecular (Shahrampour et al., 2020). El poder de hinchamiento de las PC se ve disminuido significativamente con la adición de *L. plantarum.* Lo anterior relacionado con que los probióticos forman interacciones con los compuestos hidrofílicos de la matriz, disminuyendo su disponibilidad para formar enlaces con agua. Las películas con *L. plantarum* suelen tener mayor fuerza de tensión en comparación con las películas sin probióticos (Li et al., 2020). La fuerza de tensión también se ve considerablemente aumentada en las películas con alginato, así como la elasticidad. Las PC con microorganismos suelen ser más opacas que las películas control, por otro lado, la opacidad se puede regular haciendo una combinación de otros factores como las concentraciones de los plastificantes o la composición de la matriz (Shahrampour et al., 2020). Después de añadidos los probióticos, la

capacidad antioxidante de los empaques se ve aumentada considerablemente. Las PC con *L. plantarum* al 2% presentan una mayor actividad antioxidante, gracias a sus polisacáridos extracelulares que estimulan la actividad intracelular antioxidante logrando que las muestras se mantengan en buenas condiciones por más tiempo (Figura 11) (Li et al., 2000). Además, *L. plantarum* presenta un poder de inhibición contra bacterias mesófilas aerobias, psicotróficas y coliformes. Los microorganismos compiten por nutrientes y producen bacteriocinas. Las películas con 2.5% de nano fibra y 20% de inulina tienen buenas propiedades mecánicas y también la capacidad de mantener viables a los probióticos (Zabihollahi et al., 2020).

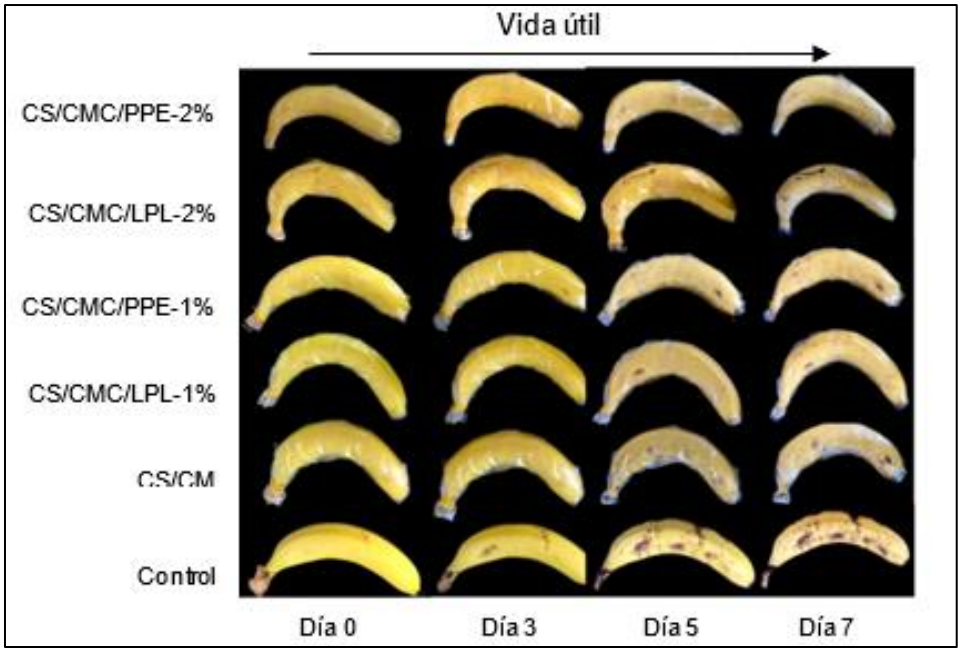

Figura 11: Plátanos recubiertos con películas comestibles a base de almidón de yuca adicionada con probióticos (Li et al., 2020).

El proceso de secado es una etapa crítica en la fabricación de películas comestibles, debido a que en esta etapa se puede comprometer la supervivencia de los probióticos. Existen componentes que se pueden agregar en las formulaciones para proteger a los microorganismos, tales como el almidón (Li et al., 2020). El plastificante juega un rol muy importante en propiedades de flexibilidad y supervivencia de microorganismos. Mientras mayor sea su concentración las

películas son más flexibles y se logra una mayor supervivencia de las bacterias adicionadas (Shahrampour et al., 2020). Se ha demostrado el potencial del almidón para proteger a los microorganismos durante el proceso de fabricación de PC. Las unidades formadoras de colonias de bacterias como *L. plantarum* y *P. pentosaceus* se ven disminuidas después del proceso de secado (Li et al., 2020). Se ha observado que cuando se agrega sorbitol como plastificante en concentración del 60%, puede amortiguar el daño que sufren las bacterias producto del estrés térmico durante el proceso de secado. El recuento de células viables se puede estabilizar en PC con alginato. Sin embargo, si éste se combina con otros componentes con pH más alto, se puede obtener una disminución en el recuento. Lo anterior podría deberse a que al aumentar la concentración de alginato el pH aumenta favoreciendo la estabilidad de las bacterias probióticas (Shahrampour et al., 2020). La adición de inulina como prebiótico, incrementa el número de células viables de *L. plantarum*. Por otro lado, el número de células viables de *L. plantarum* puede mostrar un decremento significativo durante el tiempo de almacenamiento. Además, la incorporación de componentes como nano fibra tiene un efecto negativo en el número de células viables. Lo anterior podría deberse al efecto que tiene la nano fibra en las propiedades de absorción de las películas. Ya que la actividad de agua juega un rol importante en la viabilidad de los probióticos (Zabihollahi et al., 2020). El mayor incremento metabólico se puede observar en películas con pectina a 25 °C, teniendo una alta disminución en los recuentos viables totales (Shahrampour et al., 2020). Sin embargo, la pérdida de organismos se podría compensar inoculando una mayor cantidad de probióticos desde un inicio (Li et al., 2020). La mayor supervivencia de los probióticos se observa a temperaturas de almacenamiento de 4 °C en comparación con películas que se almacenan a temperatura ambiente. En general las películas presentan un adecuado número de bacterias viables pasados los 30 días de almacenamiento a 4 °C exceptuando las PC con componentes que tiendan a retener humedad como la pectina (Figura 10) (Shahrampour et al., 2020).

Las películas con alginato y probióticos utilizando sorbitol como plastificante, presentan las características necesarias para ser aplicadas en alimentos que se almacenen a 4 °C (Shahrampour et al., 2020). Las películas con *L. plantarum* son

muy eficientes para reducir el recuento de otras bacterias durante la refrigeración. La tasa de crecimiento bacteriano contaminante en las muestras fue significativamente más baja que en las muestras control (Zabihollahi et al., 2020).

Piermaria et al. (2015) desarrollaron películas a partir de kefiran, que es un polisacárido producido por bacterias ácido-lácticas incluidas en los gránulos de kéfir. Añadieron a sus películas 2 cepas bacterianas diferentes: *Lactobacillus plantarum* CIDCA 8327 por su buena adhesión al epitelio intestinal y por su habilidad de inhibir el crecimiento de algunos patógenos y *Kluyveromyces marxianus* CIDCA 8154 debido a su capacidad de adherencia al epitelio. *Kluyveromyces marxianus* es una levadura que está asociada con productos lácteos fermentados, como kéfir, yogurt, y queso, así como con el deterioro de las frutas (Karim et al., 2020; Varela et al., 2017). Está filogenéticamente relacionada con *Saccaromyces cerevisiae* y es especie hermana de *Kluyveromyces lactis.* Tanto *K. lactis* como *K. marxianus* tienen la capacidad de transportar la lactosa y utilizarla como fuente de energía (Lane & Morrissey, 2010; Varela et al., 2017). *K. marxianus* cuenta con un par de genes que se encargan de tomar la lactosa y transformarla en glucosa y galactosa. Lleva a cabo respiración aeróbica y es capaz de generar energía a partir de una mezcla entre respiración y fermentación (Lane et al., 2011). Se desarrolla a temperaturas de entre 42 y 52°C y se reproduce dos veces más rápido que *S. cerevisiae* en medio enriquecido (Lane et al., 2011; Varela et al., 2017). *K. marxianus* cuenta con pocas restricciones en su aplicación y tiene potencial para ser empleada en el campo de la biotecnología (Lane & Morrissey, 2010). Puede ser utilizada como probiótico debido a su capacidad de adhesión al epitelio intestinal. Además, tiene propiedades anti oxidativas, antiinflamatorias y la habilidad de reducir el colesterol en un 30%. Se considera un huésped favorable para producir compuestos extracelulares debido a su capacidad de crecer en varios medios de bajo costo (Karim et al., 2020). Se puede emplear en la fabricación de tequila ya que rompe compuestos en el agave liberando azúcares que posteriormente son fermentados (Varela et al., 2017). Se suele utilizar también para la producción de inulina, β-galactosidasa, pectinasa y biosurfactantes, para fabricar bioetanol, fructosa e ingredientes importantes para la industria farmacéutica, alimentos bajos en lactosa, jugos, vinos, entre otros (Karim

et al., 2020). Debido a su rápido crecimiento, termo tolerancia y producción de etanol cuando crece en medios con inulina o lactosa, *K. marxianus* se ha empleado a nivel industrial para procesos que van desde la producción de biomasa hasta la biorremediación (Lane et al., 2011).

Las películas a partir de kefiran adicionadas con *L. plantarum* y *K. marxianus* muestran una consistencia parecida al plástico, se despegan con facilidad de la caja Petri y presentan una apariencia homogénea, lisa y transparente. La presencia de microorganismos no parece afectar el grado de pH de los productos finales, valor que se mantuvo entre 4.1 ± 0.1. Las películas sin plastificante son menos rugosas en comparación a las que contienen glicerol. Los lactobacilos no incrementan el grado de aspereza en las películas, pero la presencia de levaduras sí. La resistencia a la elongación es similar a la de películas de otros biopolímeros, sin embargo, decrementa con la incorporación de microorganismos. No se observó una gran disminución para *K. marxianus* entre la viabilidad en las formulaciones y la viabilidad durante el proceso de obtención de la película. Por el contrario *L. plantarum* disminuyó significativamente durante el proceso de secado. A pesar de que las películas a partir de kefiran no son capaces de proteger a los microorganismos del daño por deshidratación al 100%, se obtuvo una supervivencia satisfactoria en los productos finales (Piermaria et al., 2015).

Por otra parte, Gagliarini et al. (2019) desarrollaron películas comestibles a partir de kefiran y proteína de suero adicionada con probióticos. Mencionan que cuando se combinan compuestos como proteínas y polisacáridos para la fabricación de películas y recubrimientos comestibles, los productos finales pueden combinar las características de PC y RC a partir de polisacáridos y a partir de proteínas. Las soluciones contenían aislado de proteína de suero, kefiran y glicerol al 6, 2 y 3.2% (p/p) en agua, incluyendo o no microorganismos. Se emplearon *Lactobacillus paracasei* CIDCA 8339 y *Kluyveromyces marxianus* CIDCA 8154. Algunas especies de lactobacilos como *L. casei, L. paracasei* y *L. rhamnosus* son utilizados como organismos no iniciadores en variedad de alimentos fermentados, como quesos madurados y productos lácteos para conferir sabores, aromas y texturas. Estos

microorganismos están asociados con el tracto gastrointestinal de los mamíferos (Comunian et al., 2010). Se pueden emplear como probióticos poque pueden tolerar cambios osmóticos, estrés térmico y el paso por el tracto digestivo (Reale et al., 2015).

Lactobacillus paracasei en particular, ha demostrado tener una buena supervivencia a bajos valores de pH, tolerancia a las sales biliares y la habilidad de reducir el colesterol in vitro. Los productos fermentados por *L. paracasei* también traen consigo beneficios a la salud. La leche fermentada con *L. paracasei* ayuda a bajar los niveles de colesterol de baja densidad significativamente, teniendo efectos contra la hipertensión. Implementar *L. paracasei* en la dieta tiene efectos positivos en el sistema inmune promoviendo la proliferación de células como las NK y ayudando a controlar alergias en ratones (Chiang & Pan, 2012). Las películas a partir de proteína de suero y kefiran con *Kluyveromyces marxianus* y *Lactobacillus paracasei* son transparentes y homogéneas y se desprenden con facilidad de las placas Petri. No hay una diferencia significativa en el grosor de las películas comestibles con respecto a la adición de estos microorganismos. La coloración de las películas se torna de un tono más amarillo con la incorporación de probióticos. Después de someter a las películas a condiciones gástricas se puede observar que las proteínas no sufren una desnaturalización considerable hasta después de los 180 minutos de exposición. Por otro lado, los microorganismos también tienen gran resistencia a las condiciones intestinales hasta los 180 minutos de exposición (Figura 12). Los resultados sugieren un buen mantenimiento en la viabilidad de los microorganismos durante la simulación gastrointestinal (Gagliarini et al., 2019).

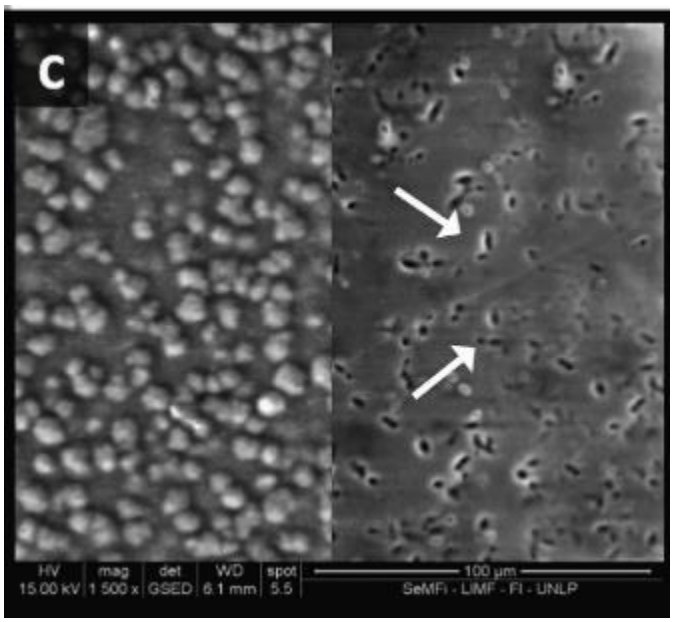

Figura 12: Probióticos en películas comestibles a partir de kefiran y aislado de proteína de suero (Gagliarini et al., 2019).

Otro microorganismo utilizado como probiótico es *Lactobacillus casei,* que se encuentra naturalmente en el ambiente. Puede aislarse de leche fermentada, productos vegetales o animales, así como en los tractos intestinales y reproductivos humanos y animales (Muñoz-Provencio et al., 2012). Forma parte de las especies hetero fermentativas facultativas, las cuales producen ácido láctico. *L. casei* se agrupa en las bacterias acido lácticas termofílicas (Hosseini Nezhad et al., 2015). *L casei* también puede ser utilizada para impedir el desarrollo de *E. coli* en alimentos, principalmente cárnicos. Esto debido a su capacidad de producir sustancias antimicrobianas (Roldán et al., 2011). Entre las cepas de lactobacilos, *Lactobacillus casei* es comúnmente utilizada en la industria para procesos de fermentación. Algunas cepas de *L. casei* tienen efectos probióticos promoviendo la buena salud de los consumidores, particularmente en yogurt y bebidas fermentadas. Se encuentra en poca cantidad en quesos post-manufactura, pero en altas concentraciones al final del madurado. También se pueden utilizar cepas recombinantes de *L. casei* para producir sorbitol a partir de glucosa. Tiene una clara capacidad de adaptación al estrés, compiten contra microbiota patógena y expresan

ciertos rasgos que traen consigo beneficios a la salud incrementando la respuesta del sistema inmune (Hosseini Nezhad et al., 2015).

Orozco-Parra et al. (2020) desarrollaron una PC a partir de almidón de yuca con inulina incorporando *Lactobacillus casei*. Las PC obtenidas presentaron una consistencia parecida a un plástico. La textura no varió con el cambio en la concentración de inulina o con la incorporación de probióticos. La adición de probióticos en películas de almidón de yuca no alteró sus propiedades mecánicas. La inclusión de probióticos disminuye la PVA, probablemente debido a la formación de pequeños conglomerados de bacterias que rompen la matriz dificultando el paso del agua a través de la barrera. De los probióticos inicialmente añadidos a las películas, sobrevivieron un 93.8% al proceso de formación y de secado. Los resultados indican que no hay un efecto tóxico en el almidón de yuca y en la inulina que puede afectar la viabilidad de los microorganismos. Se pudo observar que la temperatura de almacenamiento juega un rol importante en la conservación de los probióticos. En las películas con mayores concentraciones de inulina se obtuvo mayor viabilidad de lactobacilos. La inulina ayuda a reducir el estrés a la temperatura y protege al microorganismo durante el proceso de formación de las PC. Se obtuvo una mejor supervivencia de los lactobacilos en condiciones gástricas con una mayor concentración de inulina (Orozco-Parra et al., 2020).

Ebrahimi et al. (2018) utilizaron carboximetilcelulosa (CMC) para la fabricación de películas comestibles debido a que es más hidrofílica que la celulosa. Agregaron probióticos para evaluar su supervivencia en las películas. Se emplearon cepas de Lactobacillus casei, L. acidophilus, L. rhamnosus y Bifidobacterium bifidum. *Lactobacillus acidophilus* es un microorganismo no patogénico que se encuentra naturalmente en la microbiota intestinal. Debido a su producción de lactasa, enzima importante para la correcta digestión de la leche, se suele integrar en diferentes productos comerciales de leche fermentada. Se considera importante para la medicina y la industria ya que disminuye los niveles de bacterias y levaduras dañinas en el intestino delgado (Ahmed et al., 2010). Debido a que se adhiere al epitelio intestinal evitando que microorganismos patógenos se alojen en el tracto

digestivo, puede utilizarse para fines terapéuticos en tratamientos asociados con la restitución del balance de la microbiota intestinal (Z. Ahmed et al., 2010; Karska-Wysocki et al., 2010). Las bacteriocinas producidas por este microorganismo, tiene actividad antibacterial contra *E. coli* y *Salmonella, Listeria monocytogenes, Bacillus cereus y Clostridium sp* (Ahmed et al., 2010). Además, estas sustancias también son efectivas para impedir el crecimiento de cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes a antibióticos (Karska-Wysocki et al., 2010). *L. acidophilus* también incrementa la biodisponibilidad del hierro en modelos animales (Ahmed et al., 2010).

Por otra parte, *Lactobacillus rhamnosus* tiene la habilidad de sobrevivir a niveles de pH gástricos incluso en medio con bilis, de adherirse a enterocitos y al epitelio intestinal regulando su permeabilidad. También tiene la capacidad de producir un biofilm que protege la mucosa, disminuye la apoptosis en el epitelio intestinal y preserva la integridad del citoesqueleto (Capurso, 2019). Por otra parte, inhibe el crecimiento de patógenos como algunas especies de *Salmonella* ya que produce sustancias que pueden ser nocivas para algunas especies de patógenos, además, mejora la función de barrera del epitelio (Capurso, 2019; Petrova et al., 2021). También es capaz de producir un isómero del ácido láctico que inhibe algunos tipos de virus (Petrova et al., 2021). Esta cepa puede incrementar la producción de interleucinas como la 10 y la 12 y de algunos macrófagos (Capurso, 2019). Además, se ha observado que productos suplementados con *L. rhamnosus* pueden mejorar las condiciones de vida de un paciente infectado con VIH, así como prevenir infecciones por bacterias aerobias y anaerobias en el tracto urogenital (Bertuccini et al., 2017; Petrova et al., 2021).

Entre las bacterias probióticas, las bifidobacterias son de las más usadas y estudiadas. Componen el 25.6% de la población microbiana en leche materna (Ku et al., 2016). Son bacterias Grampositivas que se aislaron por primera vez en heces de lactantes (Turroni et al., 2014). *Bifidobacterium bifidum* es considerada una especie dominante en la microbiota de infantes saludables. Se utiliza en productos nutracéuticos como microorganismo probiótico debido a sus beneficios como: mejora del sistema inmune, efectos antitumorales y producción de metabolitos

benéficos (Ku et al., 2016). También tienen actividad antibacterial contra algunos patógenos que incluyen a *Helicobacter pylori. B. bifidum* puede reducir la apoptosis de las células del epitelio del intestino (Turroni et al., 2014).

Para fabricar sus películas adicionadas con probióticos (*Lactobacillus casei, L. acidophilus, L. rhamnosus* y *Bifidobacterium bifidum)*, Ebrahimi et al. (2018), agregaron los microorganismos llegando a una concentración de 10^9 UFC/ml cuando la solución formadora se encontraba a 37 °C. También se dejaron películas sin probióticos para funcionar como control. No se observó un decremento significativo en la viabilidad de los probióticos durante el proceso de secado. La temperatura de almacenamiento juega un rol importante y la viabilidad de los probióticos, siendo 4°C la óptima. El mayor decremento en viabilidad se observó en *Lactobacillus rhamnosus* que bajó a 10^3 UFC/g de película a 25 °C. *Lactobacillus acidophilus* presenta una mayor resistencia. Los demás microorganismos se mantuvieron en niveles recomendados de 10^7 UFC/g. La permeabilidad al vapor de agua aumenta en un 50% con la adición de probióticos comparando con el control. La adición de un biopolímero secundario podría prevenir el aumento en la permeabilidad. La fuerza de tensión también disminuyó con la incorporación de probióticos (Ebrahimi et al., 2018)

Bambace et al. (2019) desarrollaron un recubrimiento comestible a partir alginato. Incorporaron *Lactobacillus rhamnosus* CECT 8361 a la formulación, así como inulina u oligofructosa y lo probaron en moras azules. Por su parte, Singh et al. (2019) desarrollaron películas a partir de carboximetilcelulosa (CMC) y de hidroxietilcelulosa (HEC) adicionando en ambos casos ácido cítrico (AC) y lactobacilos (Figura 13). Para añadir microorganismos a películas comestibles a partir de derivados de celulosa, se suele recurrir a dos métodos: sumergiendo las películas en el cultivo bacteriano o mezclando las bacterias con las formulaciones antes de formar las películas. Bambace et al. (2019) recubrieron las frutas sumergiéndolas en las soluciones formadoras durante 2 minutos. Se dejaron escurrir durante un minuto y se volvieron a sumergir otros 2 minutos en cloruro de calcio.

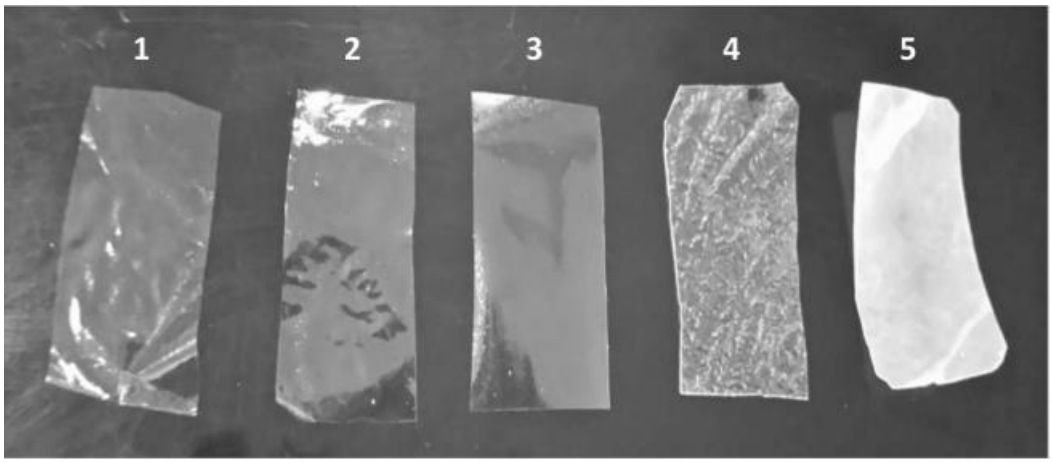

Figura 13: Películas a partir de hidroxietilcelulosa (HEC) y carboximetilcelulosa (CMC). 1: 2% HEC, 2: 2% CMC, 3: 1% HEC + 1% CMC, 4: 1% HEC + 1% CMC + 5% AC y 5: 1% HEC + 1% CMC + 10% AC (Singh et al., 2019).

Con los métodos de fabricación de películas con probióticos descritos anteriormente, los probióticos presentan una baja viabilidad debido a las condiciones en las que se forman las películas. Ya que, si bien los lactobacilos se desarrollan mejor a temperaturas más bajas, las películas no se forman correctamente a menos de 50 °C. Debido a lo anterior se puede recurrir a otro método para incorporar células vivas a las películas. El método consiste en remojar las películas formadas en una solución LGG durante 30 minutos y posteriormente promover una adsorción de probióticos en la matriz. Este último método puede ser más eficaz que los 2 anteriores ya que la mayoría de los lactobacilos permanecen vivos una vez formadas las películas (Singh et al., 2019). Con respecto a los recubrimientos, los resultados mostraron que no hay una diferencia significativa en el conteo de lactobacilos al principio del tratamiento y al final. La inulina y oligofructosa pueden proteger a los probióticos de las temperaturas necesarias para la formación de los recubrimientos y del deterioro con el paso del tiempo. Pasados los días de almacenamiento se pudo observar que en los recubrimientos sin inulina ni oligofructosa, el conteo de microorganismos fue mucho menor que en los recubrimientos donde los lactobacilos se encontraban protegidos con una mezcla de estos componentes (Bambace et al., 2019). El ácido cítrico también ayuda a

preservar el recuento de células vivas a lo largo del tiempo de almacenamiento, con una relación inversamente proporcional entre la cantidad de AC y el decremento de UFC´s en las películas. Un valor de pH más alto favorece el hinchamiento de la película y la liberación más eficiente de los microorganismos (Singh et al., 2019). Los lactobacilos aplicados en los alimentos no inhiben el crecimiento de otras bacterias, pero con el paso del tiempo la cantidad de los microorganismos nativos se mantiene por debajo de los límites permitidos. Ninguna de las moras recubiertas presentó descomposición, mientras que la muestra control se deterioró en un 7% pasados los 21 días de almacenamiento. La adición de microorganismos no modificó el aroma ni el sabor de la fruta. Lo anterior demuestra que la adición de bacterias probióticas no afecta en la degradación de las propiedades sensoriales del producto diana (Bambace et al., 2019). Las películas a partir de carboximetilcelulosa y/o hidroxietilcelulosa haciendo uso de ácido cítrico son una matriz viable para el atrapamiento de lactobacilos, modulando las concentraciones de los componentes y el pH del producto final (Singh et al., 2019).

Bifidobacterium lactis es un microorganismo probiótico que se encuentra frecuentemente en alimentos (Pedroso et al., 2012). *B. lactis* es resistente a los procesos necesarios para la preparación de productos con probióticos, así como al periodo de almacenamiento y al paso por el tracto gastrointestinal (Albertini et al., 2010). Es resistente al pH gástrico, a las sales biliares y a temperaturas variables sobre todo si se protege por microencapsulación por alguna membrana lipídica (Pedroso et al., 2012). Una vez en el organismo, *Bifidobacterium* ha demostrado tener una buena capacidad para adherirse al epitelio intestinal, propiedad deseable en microorganismos probióticos. Los probióticos como *Bifidobacterium lactis* tienen efectos importantes para la salud de los infantes, como protegerlos de desarrollar eczema, enfermedad en la piel que presentan principalmente niños con alergias (Kim et al., 2010). Por otra parte, algunos alimentos como el yogurt, incorporados con *B. lactis* pueden disminuir en un 4.54% el colesterol total y un 7.45% el colesterol de baja densidad en pacientes con diabetes, sin presentar efectos adversos (Ejtahed et al., 2011).

Alvarez et al. (2021) trataron manzanas con recubrimientos comestibles a partir de alginato, incorporadas con inulina y oligofructosa como prebióticos y con *Lactobacillus rhamnosus* CECT 8361 o *Bifidobacterium lactis* CECT 8145 como probióticos. A las muestras también se les inoculó *E. coli* y *L. innocua* para evaluar el grado de inhibición con la adición de probióticos. Cuando se expusieron las muestras a condiciones gástricas se detectó una reducción en la viabilidad de *L. rhamnosus*, pero no de manera significativa. En las muestras sin someter a condiciones gástricas, no se detectó ninguna reducción significativa en la viabilidad después de 8 días de almacenamiento. Por otra parte, sí se observó un decremento significativo en el número de probióticos después del tratamiento gástrico. Sin embargo, se obtuvo un alto grado de retención en la viabilidad en las muestras con *B. lactis* no digeridas. A pesar de que se obtuvieron pérdidas en ambos microorganismos, aún se conservó la cantidad necesaria estipulada por la FDA para alimentos con probióticos. La formulación con alginato y prebióticos redujo en un 25% la oxidación de las manzanas en comparación con las muestras sin recubrimiento. La adición de *L. rhamnosus* también resultó en una baja oxidación incluso después del proceso digestivo. Las muestras con *B. lactis* no mostraron ninguna diferencia observable en la oxidación de las muestras. Pasados los 8 días, las muestras recubiertas con formulaciones que incluían probióticos, obtuvieron valores sensoriales menores en comparación con los recubrimientos con alginato y prebióticos. Las muestras con *L. rhamnosus* tuvieron puntuaciones más bajas en comparación con las muestras con *B. lactis.* A pesar de deteriorar las propiedades sensoriales, estas se mantuvieron con características aceptables. Después de 8 días de almacenamiento, se observó que la viabilidad de *E. coli* y *L. innocua* disminuyó con la incorporación de probióticos en las muestras. Por otro lado, la presencia de *E. coli* y *L. innocua* no afectó la supervivencia de *L. rhamnosus y B. lactis*. Se concluyó que los microorganismos escogidos son buenos candidatos para hacer agregados en manzanas frescas cortadas, ya que sobreviven a las condiciones de almacenamiento y de digestión (Alvarez et al., 2021).

11 Conclusiones

La industria agroalimentaria suele aprovechar sólo una parte de sus materias primas, descartando gran cantidad de residuos orgánicos que suelen terminar en basureros causando un desequilibrio ambiental. En los subproductos de frutas, verduras y de origen animal se pueden encontrar diversos compuestos que se pueden emplear para fabricar películas y recubrimientos comestibles con buenas características mecánicas y de barrera. Las películas fabricadas con almidón a partir de cáscara de plátano, de yuca, de papa y de mango obtuvieron buenos resultados en comparación con otras películas fabricadas de almidón comercial. El mucílago de tuna y nopal funcionó para facilitar la fabricación de soluciones formadoras de películas. Las películas formadas a partir de proteínas de suero lácteo y de residuos pesqueros obtuvieron excelentes propiedades mecánicas, como buena elasticidad y resistencia. De los residuos también se pueden obtener compuestos bio activos que otorgan propiedades benéficas a las películas, al alimento recubierto y al consumidor. Tal es el caso de los antioxidantes obtenidos de la semilla de mango, de la cáscara de limón y de diversas partes de la piña. Estos antioxidantes evitaron que las muestras sobre las que se probaron las PC y RC conservaran mejor sus propiedades visuales. Las PC y RC a partir de fuentes no convencionales pueden tener propiedades similares a las fabricadas con recursos que se comercializan para este fin.

Los alimentos con probióticos son cada vez más solicitados por los consumidores ya que representan beneficios para la salud. Sin embargo, cada vez se buscan más maneras de consumirlos debido a que no toda la población puede ingerir todo tipo de alimentos. La incorporación de probióticos en películas comestibles es una buena alternativa de incorporar estos microorganismos en la dieta diaria. El proceso de fabricación de PC y RC adicionados con probióticos debe tener ciertas consideraciones para que las bacterias sobrevivan al proceso y lleguen intactas al tracto digestivo. Se pueden incorporar también prebióticos a las formulaciones para incentivar la protección de los microorganismos antes, durante y después de la formación de las películas. Esto último implicaría la fabricación de alimentos simbióticos que también son sumamente solicitados por el público.

12 Referencias

Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., & Bello-Pérez, L. A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, *47*(1), 1–12.

Ahmed, A. (2017). Chemical and Technological Studies of Mango Seed Kernel. *European Journal of Food Science and Technology*, *5*(2), 32–40. www.eajournals.org

Ahmed, Z., Wang, Y., Cheng, Q., & Imran, M. (2010). Lactobacillus acidophilus bacteriocin, from production to their application: An overview. *African Journal of Biotechnology*, *9*(20), 2843–2850.

Ajikumaran, N. S., Rajani, K. S., Akhila, S. N., & Sabulal, B. (2017). Citrus peels prevent cancer. *Phytomedicine*, 1–34. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.08.011

Albertini, B., Vitali, B., Passerini, N., Cruciani, F., Di Sabatino, M., Rodriguez, L., & Brigidi, P. (2010). Development of microparticulate systems for intestinal delivery of Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium lactis. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *40*(4), 359–366. https://doi.org/10.1016/j.ejps.2010.04.011

Algecira, N. A., & Saavedra, N. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Nova*, *8*(14), 171. https://doi.org/10.22490/24629448.448

Alvarez, M. V., Bambace, M. F., Quintana, G., Gomez-Zavaglia, A., & Moreira, M. del R. (2021). Prebiotic-alginate edible coating on fresh-cut apple as a new carrier for probiotic lactobacilli and bifidobacteria. *LWT - Food Science and Technology*, *137*(May 2020), 110483. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110483

Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (Musa Paradisiaca). *Revista Chilena de Nutricion*, *43*(4), 394–399. https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009

Andrade, R. M. S., Ferreira, M. S. L., & Gonçalves, É. C. B. A. (2016). Development and Characterization of Edible Films Based on Fruit and Vegetable Residues. *Journal of Food Science*, *81*(2), E412–E418. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13192

Apriyani, S., Prasetya, A., & Mujiharjo, S. (2020). Aplikasi pati kulit ubi kayu sebagai bahan baku edible coating dengan penambahan kitosan untuk memperpanjang umur simpan jeruk rimau gerga lebong (rgl) bengkulu. *Jurnal Agroindustri*, *10*(1), 21–32.

Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products : Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, *80*(October 2017), 51–60. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027

Ayquipa, E. (2018). Caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna (Opuntia spp) y almidón de cáscara de papa (Solanum tuberosum). *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*.

Báez-Sañudo, R., Mercado-Ruiz, J. N., García-Robles, J. M., Valle-Sotelo, E. G., Falcón-Verdugo, L. P., Martínez-Gárate, A. A., Herrera-Cebreros, J. M., & Anaya-Dyck, J. M. (2018). Ácido Acetilsalicílico y cubiertas comestibles para la conservación de frutos : Tomate como modelo. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *19*(August), 74–87. https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81355612006/81355612006.pdf

Balasuriya, N., & Rupasinghe, H. P. V. (2012). Antihypertensive properties of flavonoid-rich apple peel extract. *Food Chemistry*, *135*(4), 2320–2325. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.023

Bambace, M. F., Alvarez, M. V., & Moreira, M. del R. (2019). Novel functional blueberries: Fructo-oligosaccharides and probiotic lactobacilli incorporated into alginate edible coatings. *Food Research International*, *122*(August 2018), 653–660. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.040

Baron, R. D., Pérez, L. L., Salcedo, J. M., Córdoba, L. P., & José, P. (2017).

Production and characterization of films based on blends of chitosan from blue crab (Callinectes sapidus) waste and pectin from Orange (Citrus sinensis Osbeck) peel. *International Journal of Biological Macromolecules*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.004

Basso, A., de Fátima Peralta Muniz Moreira, R., & José, H. J. (2018). Effect of operational conditions on photocatalytic ethylene degradation applied to control tomato ripening. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *367*, 294–301. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.08.027

Bertuccini, L., Russo, R., Iosi, F., & Superti, F. (2017). Effects of Lactobacillus rhamnosus and Lactobacillus acidophilus on bacterial vaginal pathogens. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, *30*(2), 163–167. https://doi.org/10.1177/0394632017697987

Beyene, G., & Araya, A. (2015). Review of Mango (Mangifera indica) Seed-Kernel Waste as a Diet for Poultry. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, *5*(11), 156–160.

Bhattacharjee, S., Haldar, D., Mriganka, M., Gayen, K., & Bhowmick, T. K. (2020). A sustainable approach to enhance fruit shelf-life : Edible coating from pineapple fruit waste biomass. *Journal of Applied Polymer*, *October*, 1–17. https://doi.org/10.1002/app.50388

Blasco, G., & Gómez, F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). *Revista Médica UV*. https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf

Bolio-López, G. I., Valdéz-González, A., Velva, L., & Andreeva, A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: Obtención y caracterización. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *10*(2), 291–299.

Cagri, A., Ustunol, Z., & Ryser, E. T. (2016). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, *67*(4), 281–295. https://doi.org/10.1201/9781315373713

Capurso, L. (2019). Thirty Years of Lactobacillus rhamnosus GG A Review. In *Journal of Clinical Gastroenterology* (Vol. 53, Issue March). https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000001170

CCA. (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte*. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD003593.pdf

Ceballos, H., Okogbenin, E., Pérez, J. C., Becerra, L. A., & Debouck, D. (2010). Chapter 2 - Cassava. In *Root and Tuber Crops*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92765-7

Chakravartula, S. S. N., Soccio, M., Lotti, N., Balestra, F., Dalla Rosa, M., & Siracusa, V. (2019). Characterization of composite edible films based on pectin/alginate/whey protein concentrate. *Materials*, *12*(15), 1–19. https://doi.org/10.3390/ma12152454

Chiang, S. S., & Pan, T. M. (2012). Beneficial effects of Lactobacillus paracasei subsp. paracasei NTU 101 and its fermented products. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *93*(3), 903–916. https://doi.org/10.1007/s00253-011-3753-x

Comunian, R., Daga, E., Dupré, I., Paba, A., Devirgiliis, C., Piccioni, V., Perozzi, G., Zonenschain, D., Rebecchi, A., Morelli, L., De Lorentiis, A., & Giraffa, G. (2010). Susceptibility to tetracycline and erythromycin of Lactobacillus paracasei strains isolated from traditional Italian fermented foods. *International Journal of Food Microbiology*, *138*(1–2), 151–156. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.018

Cortés-Rodríguez, M., Villegas-Yépez, C., Gil, J. H., Rodríguez, P. E., & Ortega-Toro, R. (2020). Development and evaluation of edible films based on cassava starch, whey protein, and bees wax. *Heliyon*, *6*(9). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04884

Criminna, R., Fidalgo, A., Delisi, R., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2016). Pectin

Production and Global Market. *Functional Ingredients*, *27*(5), 17–20.

Da Rosa, E., Mello, S. L., Marques, R., Guerra, A. R., & Prentice-Hernández, C. (2014). Mechanical, barrier and morphological properties of biodegradable films based on muscle and waste proteins from the mhitemouth croaker (Micropogonias furnieri). *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(Krochta 2002), 1973–1981. https://doi.org/10.1111/jfpp.12173

Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., & Mohanta, D. (2019). Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible fi lms with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *139*, 449–458. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.193

de Faria Arquelau, P. B., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., de Araújo, R. L. B., & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, *89*, 570–578. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.11.029

Dhanavade, M. J., Jalkute, C. B., Ghosh, J. S., & Sonawane, K. D. (2011). Study Antimicrobial Activity of Lemon (Citrus lemon L.) Peel Extract. *British Journal O*, *January*.

Dhouibi, R., Affes, H., Salem, M. Ben, Hammami, S., Sahnoun, Z., Zeghal, K. M., & Ksouda, K. (2019). Screening of pharmacological uses of Urtica dioica and others benefits. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, *xxxx*. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2019.05.008

Diarra, S. S. (2014). Potential of mango (Mangifera indica L .) seed kernel as a feed ingredient for poultry : a review. *World’s Poultry Science Association*, *70*(June), 279–288. https://doi.org/10.1017/S0043933914000294

Duar, R. M., Lin, X. B., Zheng, J., Martino, M. E., Grenier, T., Pérez-Muñoz, M. E., Leulier, F., Gänzle, M., & Walter, J. (2017). Lifestyles in transition: evolution and natural history of the genus Lactobacillus. *FEMS Microbiology Reviews*, *41*(1), S27–S48. https://doi.org/10.1093/femsre/fux030

Ebrahimi, B., Mohammadi, R., Rouhi, M., Mortazavian, A. M., Shojaee-Aliabadi, S., & Koushki, M. R. (2018). Survival of probiotic bacteria in carboxymethyl cellulose-based edible film and assessment of quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, *87*, 54–60. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.066

Ejtahed, H. S., Mohtadi-Nia, J., Homayouni-Rad, A., Niafar, M., Asghari-Jafarabadi, M., Mofid, V., & Akbarian-Moghari, A. (2011). Effect of probiotic yogurt containing Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium lactis on lipid profile in individuals with type 2 diabetes mellitus. *Journal of Dairy Science*, *94*(7), 3288–3294. https://doi.org/10.3168/jds.2010-4128

Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R., & Márquez, R. (2011). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo : estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Innotec*, *0*(4), 33–36.

Espino-Díaz, M., Ornela- Paz, J. de J., Martinez-Tellez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V, Zamudio-Flores, P. B., & Olivas, G. I. (2010). Development and Characterization of Edible Films Based on Mucilage of Opuntia ficus-indica (L .). *Journal of Food Science*, *75*(6), 347–352. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01661.x

Espitia, P. J. P., Batista, R. A., Azeredo, H. M. C., & Otoni, C. G. (2016). Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. *Food Research International*, *90*, 42–52. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026

FAO. (2002). Probiotics in food. Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. *Food and Nnutrition Paper*. http://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf

FAO. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo – Alcance, causas y prevención. In *Roma*. https://doi.org/10.3738/1982.2278.562

Fasoli, E., & Righetti, P. G. (2013). The peel and pulp of mango fruit : A proteomic samba. *BBA - Proteins and Proteomics*, *1834*(12), 2539–2545.

https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.09.004

Fernández, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., García, A., & 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. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000300008

Fernández, N. M., Echeverria, D. C., Mosquera, S. A., & Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *15*(2), 134–141.

Gagliarini, N., Diosma, G., Garrote, G. L., Abraham, A. G., & Piermaria, J. (2019). Whey protein-kefiran films as driver of probiotics to the gut. *LWT - Food Science and Technology*, *105*(August 2018), 321–328. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.023

García, A. O. R., Pinzón, F. M., & Sánchez, A. L. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, manihot esculenta, variedad ica, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *11*(1), 13–21. https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382

González-Montelongo, R., Lobo, M. G., & González, M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry*, *119*(3), 1030–1039. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.012

Handayani, M. N., Karlina, S., Sugiarti, Y., & Cakrawati, D. (2018). Application of edible coating from cassava peel – bay leaf on avocado. *Journal of Physics*.

Herrera-Plasencia, P., Garcia-Rupaya, C., & Delgado-Cotrina, L. (2019). Eficacia disolvente y citotoxicidad del aceite de cáscara de limón (Citrus limon). *Estomatol Herediana*, *29*(3), 196–202.

Hoseinzadeh, R., Arami-Niya, A., Wan, A., & Sahu, J. N. (2013). Preparation and characterization of activated carbon from apple waste by microwave-assisted phosphoric acid activation: Aplication in methylene blue adsorption. *BioResources*, *8*(2), 2950–2966.

Hosseini Nezhad, M., Hussain, M. A., & Britz, M. L. (2015). Stress Responses in Probiotic Lactobacillus casei. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*(6), 740–749. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.675601

Jiménez, G., Rodriguez, E., Contreras, M., Valbuena, A., & Colina, M. (2011). Obtención de carboximetil celulosa usando Lemna como materia prima. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, *12*(6), 334–341. https://rieoei.org/historico/deloslectores/2652Espinosav2.pdf

Jorge, P., & Troncoso, L. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la Opuntia apurimacensis (ayrampo) y de la Opuntia ficus-indica (tuna). *Anales de La Facultad de Medicina*, *77*(2), 105–109. /scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832016000200002&lang=pt

Karim, A., Gerliani, N., & Aïder, M. (2020). Kluyveromyces marxianus: An emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology. *International Journal of Food Microbiology*, *333*(August), 108818. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108818

Karska-Wysocki, B., Bazo, M., & Smoragiewicz, W. (2010). Antibacterial activity of Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus casei against methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA). *Microbiological Research*, *165*(8), 674–686. https://doi.org/10.1016/j.micres.2009.11.008

Kaur, A., & Brar, J. K. (2018). Use of Mango Seed Kernels for the Development of Antioxidant Rich Biscuits. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, *6*(8), 535–538.

Khem, S., Small, D. M., & May, B. K. (2016). The behaviour of whey protein isolate in protecting Lactobacillus plantarum. *Food Chemistry*, *190*, 717–723. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.020

Kim, J. Y., Kwon, J. H., Ahn, S. H., Lee, S. Il, Han, Y. S., Choi, Y. O., Lee, S. Y., Ahn, K. M., & Ji, G. E. (2010). Effect of probiotic mix (Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium lactis, Lactobacillus acidophilus) in the primary prevention of eczema: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Pediatric Allergy and Immunology*, *21*(2 PART 2). https://doi.org/10.1111/j.1399-3038.2009.00958.x

Kintzios, S. E. (2012). Oregano. *Handbook of Herbs and Spices: Second Edition*, *2*, 417–436. https://doi.org/10.1533/9780857095688.417

Ku, S., Park, M. S., Ji, G. E., & You, H. J. (2016). Review on bifidobacterium bifidum bgn4: Functionality and nutraceutical applications as a probiotic microorganism. *International Journal of Molecular Sciences*, *17*(9). https://doi.org/10.3390/ijms17091544

Kumar, H., Bhardwaj, K., Sharma, R., Nepovimova, E., Ku, K., Dhanjal, D. S., Verma, R., Bhardwaj, P., & Sharma, S. (2020). Fruit and Vegetable Peels : Utilization of High Value Horticultural Waste in Novel Industrial Applications. *Molecules*, 1–20. https://doi.org/10.3390/molecules25122812

Lane, M. M., Burke, N., Karreman, R., Wolfe, K. H., O'Byrne, C. P., & Morrissey, J. P. (2011). Physiological and metabolic diversity in the yeast Kluyveromyces marxianus. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, *100*(4), 507–519. https://doi.org/10.1007/s10482-011-9606-x

Lane, M. M., & Morrissey, J. P. (2010). Kluyveromyces marxianus: A yeast emerging from its sister's shadow. *Fungal Biology Reviews*, *24*(1–2), 17–26. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.01.001

Li, S., Ma, Y., Ji, T., Sameen, D. E., Ahmed, S., Qin, W., Dai, J., Li, S., & Liu, Y. (2020). Cassava starch/carboxymethylcellulose edible films embedded with lactic acid bacteria to extend the shelf life of banana. *Carbohydrate Polymers*, *248*(June), 116805. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116805

Lima, P. C., de Souza, B., & Fyfe, S. (2019). Influence of storage temperature and

different packaging on the physicochemical quality of fresh-cut 'Perola' pineapple. *Idesia*, *37*(2), 13–19. https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200013

López-Herrera, M., WingChing-Jones, R., & Rojas-Baurrillón, A. (2014). Meta-análisis de los subproductos de piña (Ananas comosus) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, *25*(2), 383–392. https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15453

Lourenço, S. C., Jo, M., Fernandes, M. H., Mold, M., & Alves, V. D. (2020). Application of Edible Alginate Films with Pineapple Peel Active Compounds on Beef Meat Preservation. *Antioxidants*, 1–15.

Maharsih, I. K., Pusfitasari, M. D., Putri, C. A. S., & Hidayat, M. T. (2021). Performance evaluation of cassava peels starch- based edible coating incorporated with chitosan on the shelf-life of fresh-cut pineapples (Ananas comosus). *International Conference on Green Agro-Industry and Bioeconomy*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012017

Maidana, S. A., Danovich, C. L., Zubreski, E. R., & Martos, M. A. (2019). Extracción de pectina a partir de albedo de limón con una Poligalacturonasa de Wickerhamomyces Anomalus. *RECyT*, *21*(32), 56–63.

Mccance, K. R., Suarez, A., Mcalexander, S. L., Davis, G., Blanchard, M. R., & Venditti, R. A. (2021). Modeling a biorefinery: Converting pineapple waste to bioproducts and biofuel. *Journal of Chemical Education*, *98*(6), 2047–2054. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00020

Mohammadian, M., Moghaddam, D. A., Sharifan, A., Dabaghi, P., & Hadi, S. (2021). Structural , physico - mechanical , and bio - functional properties of whey protein isolate - based edible films as affected by enriching with nettle (Urtica dioica L .) leaf extract. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s11694-021-00988-6

Morales, S. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. *Universidad Autónoma de Madrid*, 27–29.

Muñoz-Provencio, D., Rodríguez-Díaz, J., Collado, M. C., Langella, P., Bermúdez-Humarán, L. G., & Monedero, V. (2012). Functional analysis of the Lactobacillus casei BL23 sortases. *Applied and Environmental Microbiology*, *78*(24), 8684–8693. https://doi.org/10.1128/AEM.02287-12

Mwanga, R., Andrade, M. I., Carey, E. E., Low, J. W., Yencho, C., & Grüneberg, W. J. (2017). Chapter 6 Sweetpotato (Ipomoea batatas). In *Genetic Improvement of Tropical Crops*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59819-2

Nawab, A., Alam, F., & Hasnain, A. (2017). Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf- life of tomato (Solanum lycopersicum) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.057

Olivero, R. E., Aguas, Y. del R., Mercado, I. D., Casas, D. P., & Montes, L. E. (2014). Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación En Ingeniería*, *11*(1), 70. https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302

Orozco-Parra, J., Mejía, C. M., & Villa, C. C. (2020). Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and Lactobacillus casei. *Food Hydrocolloids*, *104*(November 2019), 105754. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105754

Otoni, C. G., Espitia, P. J. P., Avena-Bustillos, R. J., & McHugh, T. H. (2016). Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*, *83*, 60–73. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.018

Pardo, O. H., Castañeda, J. C., & Ortiz, C. A. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronomica*, *62*(4), 289–295.

Pavli, F., Tassou, C., Nychas, G. J. E., & Chorianopoulos, N. (2018). Probiotic incorporation in edible films and coatings: Bioactive solution for functional foods. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(1).

https://doi.org/10.3390/ijms19010150

Pedroso, D. de L., Thomazini, M., Heinemann, R. J. B., & Favaro-Trindade, C. S. (2012). Protection of Bifidobacterium lactis and Lactobacillus acidophilus by microencapsulation using spray-chilling. *International Dairy Journal*, *26*(2), 127–132. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.04.008

Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (Musa paradisiaca). *Food Hydrocolloids*, *30*(2), 681–690. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.007

Peris, I., & Blázquez, M. A. (2015). Comparative GC-MS analysis of bay leaf (Laurus nobilis L.) essential oils in commercial samples. *International Journal of Food Properties*, *18*(4), 757–762. https://doi.org/10.1080/10942912.2014.906451

Petrova, M. I., Reid, G., & ter Haar, J. A. (2021). Lacticaseibacillus rhamnosus GR-1, a.k.a. Lactobacillus rhamnosus GR-1: Past and Future Perspectives. *Trends in Microbiology*, *29*(8), 747–761. https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.03.010

Piermaria, J., Diosma, G., Aquino, C., Garrote, G., & Abraham, A. (2015). Edible kefiran films as vehicle for probiotic microorganisms. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *32*, 193–199. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.009

Pop, O. L., Pop, C. R., Dufrechou, M., Vodnar, D. C., Socaci, S. A., Dulf, F. V., Minervini, F., & Suharoschi, R. (2019). Edible films and coatings functionalization by probiotic incorporation: A review. *Polymers*, *12*(1), 1–15. https://doi.org/10.3390/polym12010012

Prakash, J., Sivakumar, V., Sridhar, R., & Prince, V. (2013). Development of model for mechanical properties of tapioca starch based edible films. *Industrial Crops & Products*, *42*, 159–168. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.011

Rahmawati, D., Chandra, M., Santoso, S., & Puteri, M. G. (2017). Application of Lemon Peel Essential Oil with Edible Coating Agent to Prolong Shelf Life of Tofu

and Strawberry. *American Institute of Physics*, *020037*. https://doi.org/10.1063/1.4973164

Rai, A. K., Das, H., Dash, S. ., & Behera, S. (2020). Mango Seed: A potential source of nutrition from waste. *Indian Farmer*, *7*(July).

Ramos, C. L., Thorsen, L., Schwan, R. F., & Jespersen, L. (2013). Strain-specific probiotics properties of Lactobacillus fermentum, Lactobacillus plantarum and Lactobacillus brevis isolates from Brazilian food products. *Food Microbiology*, *36*(1), 22–29. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.03.010

Reagan-Shaw, S., Eggert, D., Mukhtar, H., & Ahmad, N. (2010). Antiproliferative effects of apple peel extract against cancer cells. *Nutrition and Cancer*, *62*(4), 517–524. https://doi.org/10.1080/01635580903441253

Reale, A., Di Renzo, T., Rossi, F., Zotta, T., Iacumin, L., Preziuso, M., Parente, E., Sorrentino, E., & Coppola, R. (2015). Tolerance of Lactobacillus casei, Lactobacillus paracasei and Lactobacillus rhamnosus strains to stress factors encountered in food processing and in the gastro-intestinal tract. *Lwt- Food Science and Technology*, *60*(2), 721–728. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.022

Riaz, A., Aadil, R. M., Olatounde, A. M., Bashari, M., Abid, M., & Hashim, M. M. (2020). Application of chitosan-based apple peel polyphenols edible coating on the preservation of strawberry (Fragaria ananassca cv Hongayan) fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*. https://doi.org/10.1111/jfpp.15018

Rojas, M. (2018). Recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango manila (Mangifera indica L. variedad manila) Adicionados a rodajas de manzana (Malus domestica). *Benemérita Universidad Autóno*, 0–43.

Roldán, M. L., Otero, J. L., Villareal, F., Baroni, M. R., Carrasco, M. S., Álvarez, C., Russell-White, K., Méndez, E. de los Á., & Simonetta, A. C. (2011). Efecto inhibidor de Lactobacillus casei 206/1 contra Escherichia coli O157:H7. *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, *31*(1), 1–7. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-

25562004000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Ruiz, L. A. (2021). Obtención de compuestos bioactivos por fermentación en estado solido a partir de subproductos de frutas procesadas: Una revisión. *Universidad Nacional de Frontera - Sullana*.

Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2013). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Informacion Tecnologica*, *24*(2), 47–56. https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007

Sakthi, G., Siva, M., Nargees, S., & Karthika, M. (2021). Bio edible coating on cucumber by using lemon peel, coconut milk and china grass. *International Journal of Multidisciplinary Research*, *7*(5), 286–291. https://doi.org/10.36713/epra2013

Salvetti, E., Torriani, S., & Felis, G. E. (2012). The Genus Lactobacillus: A Taxonomic Update. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *4*(4), 217–226. https://doi.org/10.1007/s12602-012-9117-8

Saravanan, K., & Aradhya, S. M. (2011). Potential nutraceutical food beverage with antioxidant properties from banana plant bio-waste (pseudostem and rhizome). *Food and Function*, *2*(10), 603–610. https://doi.org/10.1039/c1fo10071h

Seddik, H. A., Bendali, F., Gancel, F., Fliss, I., Spano, G., & Drider, D. (2017). Lactobacillus plantarum and Its Probiotic and Food Potentialities. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *9*(2), 111–122. https://doi.org/10.1007/s12602-017-9264-z

SEMARNAT. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 429. *Informe de La Situación Del Medio Ambiente En México*.

Serna, L., García-González, E., & Torres, C. (2015). Agro-Industrial potential of the mango peel based on its nutritional and functional properties. *Food Reviews International*, *9129*(October). https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1094815

Shahrampour, D., Khomeiri, M., Razavi, S. M. A., & Kashiri, M. (2020). Development

and characterization of alginate/pectin edible films containing Lactobacillus plantarum KMC 45. *LWT - Food Science and Technology*, *118*(October 2019), 108758. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108758

Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P. J. A., Gómez-Guillén, M. C., & Bifani, V. (2013). Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods. *Food Engineering Reviews*, *5*(4), 200–216. https://doi.org/10.1007/s12393-013-9072-5

Singh, P., Magalhães, S., Alves, L., Antunes, F., Miguel, M., Lindman, B., & Medronho, B. (2019). Cellulose-based edible films for probiotic entrapment. *Food Hydrocolloids*, *88*(August 2018), 68–74. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.057

Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *21*, 30. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153

Soukoulis, C., Behboudi-jobbehdar, S., Macnaughtan, W., Parmenter, C., & Fisk, I. D. (2017). Estabilidad de Lactobacillus rhamnosus GG incorporado en películas comestibles: Impacto de biopolímeros aniónicos y concentrado de proteína de suero. *Hidrocoloides Alimentarios*, 1–23. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5429391/

Srivastava, P., & Malviya, R. (2011). Sources of pectin , extraction and its applications in pharmaceutical industry − An overview. *Indian Journal of Nature Products and Resources*, *2*(1), 10–18.

Stark, J. C., Thornton, M., & Nolte, P. (2020). Potato Production Systems. In *Potato Production Systems*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7

Sun, L., Sun, J., Chen, L., Niu, P., Yang, X., & Guo, Y. (2017). Preparation and characterization of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active packaging material. *Carbohydrate Polymers*, *163*, 81–91. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.016

Tammineni, N., Ünlü, G., & Min, S. C. (2013). Development of antimicrobial potato peel waste-based edible films with oregano essential oil to inhibit Listeria monocytogenes on cold-smoked salmon. *International Journal of Food Science and Technology*, *48*(1), 211–214. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03156.x

Todorov, S. D., & de Melo Franco, B. D. G. (2010). Lactobacillus plantarum: Characterization of the species and application in food production. *Food Reviews International*, *26*(3), 205–229. https://doi.org/10.1080/87559129.2010.484113

Torres-León, C., Vicente, A., Florez-López, M., Rojas, R., Serna-Cock, L., Álvarez-Pérez, O. B., & Aguilar, C. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *LWT - Food Science and Technology*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057

Turroni, F., Duranti, S., Bottacini, F., Guglielmetti, S., Van Sinderen, D., & Ventura, M. (2014). Bifidobacterium bifidum as an example of a specialized human gut commensal. *Frontiers in Microbiology*, *5*(AUG), 1–8. https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00437

Varela, J. A., Gethins, L., Stanton, C., Ross, P., & Morrissey, J. P. (2017). Applications of Kluyveromyces marxianus in Biotechnology. *Yeast Diversity in Human Welfare*, 439–453. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2621-8

Vargas-Rodríguez, L., Arroyo, G., Herrera, C. H., Pérez, A., García, M. I., & Rodríguez, J. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, *26*(NE-1), 8–11. https://doi.org/10.15174/au.2016.839

Vieira da Silva, B., Barreira, J. C. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2016). Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science and Technology*, *50*, 144–158. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.007

Villalta, A. A. (2018). Evaluación De La Biodegradabilidad De Diferentes

Formulaciones De Un Bioplástico Sintetizado, a Partir Del Almidón Obtenido De La Cáscara De Mango. *Universidad de San Carlos de Guatemala*, 1–84.

Zabihollahi, N., Alizadeh, A., Almasi, H., Hanifian, S., & Hamishekar, H. (2020). Development and characterization of carboxymethyl cellulose based probiotic nanocomposite film containing cellulose nanofiber and inulin for chicken fillet shelf life extension. *International Journal of Biological Macromolecules*, *160*, 409–417. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.066

Zamudio, G. (2014). Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimentaria. *Revista Industria Y Alimentos*, 22–27. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/17676/0519674.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zhang, W., Xu, P., & Zhang, H. (2015). Pectin in Cancer Therapy: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 1–52. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.001