



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**Tendencia en el desarrollo, modificación y aplicación de
biopelículas en la industria alimentaria**

TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN CONTINUA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO

PRESENTA:

SALVADOR ACOSTA RODRÍGUEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.

AÑO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas

SECRETARIO: Profesor Jesús Antonio Beaz Rivera

VOCAL: M. en C. Tania Gómez Sierra

1er. SUPLENTE: Dra. Sofía Morán Ramos

2° SUPLENTE: M. en I. Eduardo Morales Villavicencio

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Edificio H “Mario Molina”, Facultad de Química, UNAM.

ASESORA DEL TEMA:

M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas

SUSTENTANTE (S):

Salvador Acosta Rodríguez

Contenido

Abreviaturas	i
1. Introducción	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos particulares	3
3. Industria plástica.....	4
4. Problemática de los plásticos en el medio ambiente	9
4.1. Mares	9
4.2. Peces y aves marinas	10
5. Uso del plástico en la industria alimentaria.....	12
6. ¿Cómo influye el embalaje en los alimentos?.....	14
7. Parámetros que influyen en la vida útil de alimentos envasados.....	17
7.1. Propiedades de barrera.....	17
7.2. Oxígeno y dióxido de carbono.....	18
7.3. Humedad.....	18
7.4. Propiedades ópticas.....	19
7.5. Propiedades mecánicas	19
8. Biopelículas a base de macromoléculas.....	20
8.1. Envases comestibles.....	21
9. Polisacáridos	24
9.1. Almidón	24
10. Proteínas	34
10.1. Gluten de trigo	35

10.4. Proteína de pescado.....	37
Discusión.....	45
Conclusiones.....	50
Anexo I.....	51
Bibliografía	52

Abreviaturas

- FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos de EUA (del inglés Food and Drug Administration)
- HDPE: Polietileno de alta densidad (del inglés High density polyethylene)
- LDPE: Polietileno de baja densidad (del inglés Low density polyethylene)
- LA: Ácido Láctico (del inglés Lactic acid)
- MP: Proteínas miofibrilares (del inglés Myofibrillar proteins)
- MMP: Proteínas musculares miofibrilares (del inglés Myofibrillar muscle proteins).
- MSW: Residuos sólidos municipales (del inglés Municipal solid waste)
- PC: Policarbonato
- PET: Tereftalato de polietileno (del inglés Polyethylene terephthalate)
- PLA: Ácido Poliláctico (del inglés Polylactic acid)
- PP: Polipropileno
- PS: Poliestireno (del inglés Polystyrene)
- RPI: Proteínas residuales aisladas (del inglés Residual proteins isolated)
- WG: Gluten de trigo (del inglés Whet gluten)
- WVP: Permeabilidad al vapor de agua (del inglés Water vapor permeability)

1. Introducción

El uso masivo de materiales poliméricos tiene como consecuencia una generación constante de desechos que causa diversos problemas de contaminación ambiental. Los plásticos se producen principalmente con fines duraderos y, por lo tanto, pueden persistir sin degradación durante décadas en el entorno donde se desechan. En particular, el problema de la basura marina ha generado una gran preocupación ambiental, debido a que es perjudicial para los ecosistemas oceánicos, la vida silvestre y los humanos (Ingrao C., 2017).

Los desechos plásticos marinos han sido reconocidos como una preocupación ambiental desde la década de 1970. Como resultado de las actividades humanas, los plásticos se pierden en el medio ambiente en diferentes puntos de su cadena de valor, desde que se transportan, hasta en los procesos de transformación antes de llegar al ambiente marino (Morten W. R., 2019). Debido a esto, durante muchos años, la legislación ambiental y la demanda de los consumidores han dado como resultado el desarrollo de “materiales poliméricos verdes” que implicarían el uso de sustancias naturales y que sean biodegradables (Tunc S., 2007).

Los biopolímeros se han convertido en la alternativa a los materiales de embalaje primario sintéticos, ya que también pueden preservar la vida útil y la calidad de los alimentos al servir como barreras selectivas para la transferencia de humedad, intercambio de gases, la oxidación de lípidos y la pérdida de compuestos aromáticos volátiles (Arfat Y. A., 2014). Los bioplásticos o las películas biodegradables pueden prepararse a partir de polímeros naturales, como proteínas, polisacáridos y lípidos o una combinación de estos compuestos (Araújo C.S., 2018).

Las proteínas, tienen una capacidad potencial de formación de película que los hace particularmente útiles para el desarrollo del material. Esto es debido a la estructura heteropolimérica de las proteínas: los diferentes aminoácidos que forman los polímeros ofrecen un amplio espectro de funcionalidades químicas y una amplia variedad de estructuras de red que conducen a propiedades únicas de

barrera contra gases (Guillaume C., 2010). Además, tienen abundantes recursos, bajo costo, una biodegradabilidad menor a seis meses (Ruhul A. Md., 2019) y son de fácil acceso en comparación con los recursos derivados del petróleo (Patni N., 2014).

En el presente trabajo realizó una recopilación de la información actualizada sobre envases biodegradables elaborados a partir de hidratos de carbono y proteínas. Además, se analizaron las características fisicoquímicas de los bioplásticos y su relación con la vida de anaquel de un producto. Finalmente, se compararon las propiedades fisicoquímicas de envases biodegradables con su similar, derivado del petróleo, con la finalidad de definir la viabilidad en la producción a nivel industrial de estos nuevos envases.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar los procedimientos en el desarrollo de biopelículas a base de proteínas, hidratos de carbono y otras macromoléculas, para la elaboración de envases biodegradables para comparar sus propiedades fisicoquímicas con un similar petroquímico, así como en la mejora de la vida de anaquel de un producto.

2.2. Objetivos particulares

- Analizar los distintos procesos de fabricación de películas biodegradables a base de proteínas e hidratos de carbono para proponer las opciones más viables en la sustitución de los envases petroquímicos.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas de las biopelículas con las de los envases plásticos petroquímicos para evidenciar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.
- Definir las características de los bioplásticos que inciden en la vida de anaquel de un producto para proponer mejoras en su desarrollo.

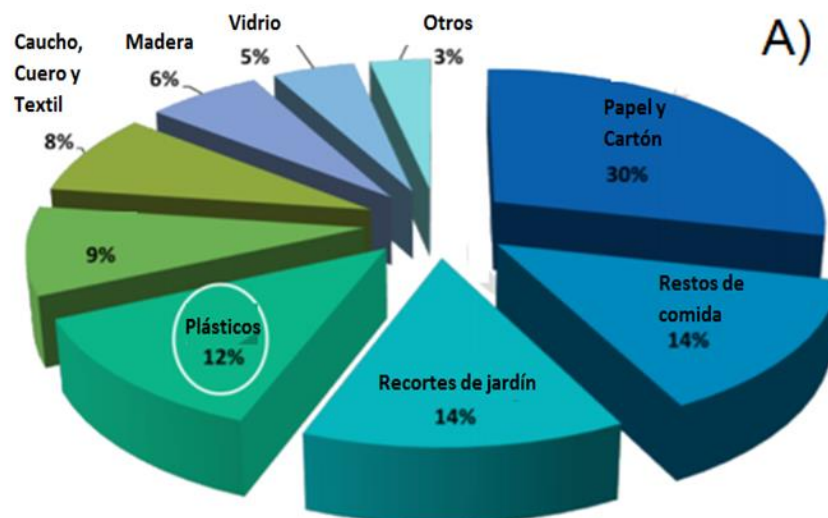
3. Industria plástica

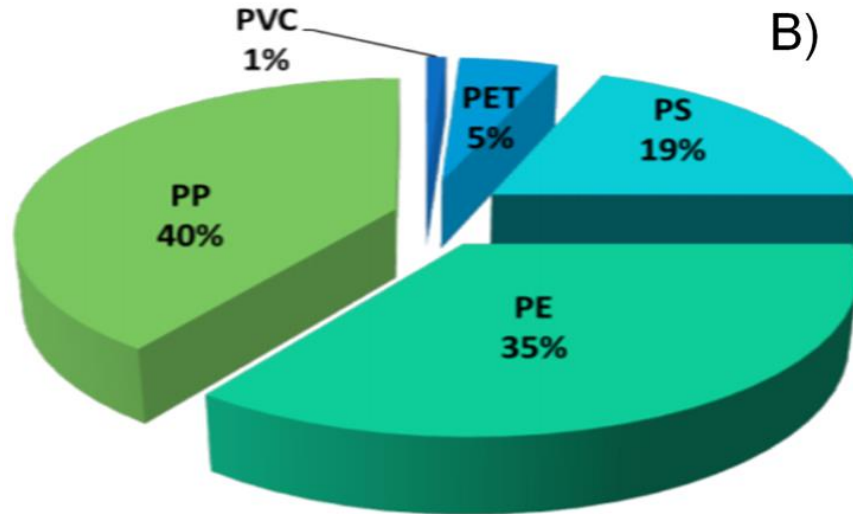
Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos o semisintéticos que son livianos, fuertes, duraderos y de bajo costo. Por estas características se utilizan para la producción de una gama muy amplia de productos y se han trasladado rápidamente a todos los aspectos de la vida humana. La mayoría de los plásticos se derivan de materias primas fósiles no renovables (por ejemplo, gas natural, petróleo o carbón). El plástico como material ayuda a superar una serie de desafíos en nuestra sociedad. Debido a su durabilidad, peso y costo, son particularmente efectivos en aplicaciones de empaque. Por ejemplo, en los envases, los plásticos se utilizan para proteger y mantener los alimentos seguros y así, la inocuidad de los alimentos. Las aplicaciones de los plásticos son extensas y como resultado, su producción ha mostrado un crecimiento continuo en los últimos 50 años (Leal W., 2019).

En las últimas décadas ha incrementado la demanda en la aplicación de materiales plásticos en la industria de envasado de alimentos tanto para embalaje primario y secundario. Existen diferentes tipos de plásticos, evidentemente cada uno con características que se pueden utilizar en el sector de embalaje alimentario. Los polímeros utilizados comúnmente son el policarbonato (PC), polietileno de alta densidad (high density polyethylene, HDPE), polietileno de baja densidad (low density polyethylene, LDPE), poliestireno (polystyrene, PS), tereftalato de polietileno (polyethylene terephthalate, PET) y polipropileno (PP). Además en la fabricación de plásticos se incluyen diversos tipos de aditivos como los antioxidantes, agentes deshidratantes, pigmentos, colorantes, absorbentes de UV, estabilizadores, lubricantes, agentes de expansión y agentes antiestáticos para mejorar sus propiedades, por ejemplo, de resistencia, durabilidad, flexibilidad, estabilidad química, elasticidad y color por mencionar algunos ejemplos (Zabihzadeh M., 2019).

El aumento de la población, la creciente urbanización y la rápida industrialización han dado como resultado varios problemas ambientales críticos provocados por el

hombre. En la actualidad, la generación de Residuos Sólidos Municipales (municipal solid waste, MSW, por sus siglas en inglés) es de aproximadamente 2 mil millones de toneladas por año y, se espera que aumente hasta 3 mil millones de toneladas para el 2025 en todo el mundo (Charles W., 2009). Los MSW están compuestos por una amplia gama de fracciones de desechos, incluidos los desechos orgánicos, tales como frutas, verduras, desperdicios de alimentos y desechos inorgánicos, vidrio, piezas de metal, entre otros. Las fracciones de residuos plásticos constituyen una parte importante de las fracciones inorgánicas de MSW. A nivel mundial, los desechos plásticos contribuyen aproximadamente el 10-13% (Gráfica 1 A) de todo el MSW (World 37 Bank, Chapter 5, EPA, 2012). Los desechos plásticos en MSW incluyen principalmente botellas, bolsas, envases, recipientes, tazas, tapas, por nombrar algunos. Estos desechos plantean una grave amenaza ambiental debido a su naturaleza no biodegradable y recalcitrante. En la Gráfica 1 B; se muestran los polímeros más utilizados para diferentes aplicaciones (Moharir R. V., 2018).





Gráfica 1 A) Fuentes de residuos sólidos municipales, B) Composición de residuos plásticos (Moharir R. V., 2018).

Los materiales plásticos se pueden reciclar de varias maneras y la facilidad de reciclaje varía según el tipo de polímero, y el diseño del producto (Tabla 1). Por ejemplo, los envases rígidos que consisten en un solo polímero son más simples y económicamente más factibles de reciclar que los paquetes o productos de plástico misceláneo y de múltiples capas. La variedad de materiales y tipos de plástico dificulta el reciclaje de los plásticos al final de su vida útil. La tasa de reciclaje general de los desechos plásticos sigue siendo baja, en comparación con otros materiales como papel, vidrio o metales (Leal W., 2019).

La Tabla 1 muestra la diversidad de plásticos disponibles actualmente en el mercado y los diferentes niveles de reutilización que tienen.

Tabla 1. Descripción general de los principales tipos de plástico y sus niveles de recolección y reciclaje.

Tipo de plástico	Principales categorías de productos	Reciclabilidad	Nivel de recolección y reciclaje
PET	Material de embalaje (por ejemplo, botellas de bebidas)	Fácil de reciclar	Alto
HDPE	Material de embalaje (por ejemplo, leche, detergente y contenedores de aceite)	Fácil de reciclar	Moderado
PVC	Material de embalaje (botellas de aceite vegetal, envoltura de comida)	Difícil de reciclar	Bajo
LDPE	Material de embalaje (por ejemplo, bolsas de plástico y película)	Fácil de reciclar (el tipo de plástico más reciclado)	Alto
PP	Material de embalaje (por ejemplo, alimentos y otros contenedores, vasos de PP, pajitas, tapas de botellas)	Fácil de reciclar	Moderado
PS	Material de embalaje (por ejemplo, envases de alimentos, bandejas, vasos y embalajes de protección)	Difícil de reciclar	Bajo
Plásticos diversos	Diferentes productos (gafas de sol, carcasa de computadora, nylon, discos compactos, biberones, etc.)	Difícil de reciclar	Alto

Fuente: (Leal W., 2019).

En consecuencia, grandes cantidades de residuos plásticos están presentes en los ambientes terrestres y acuáticos, lo cual representa un peligro para la salud

animal. Si bien los impactos ambientales tienden a ser menores con los materiales reciclados, reducir la cantidad de material puede ser más beneficioso. Todos estos impactos podrían controlarse y mitigarse principalmente mediante la producción de plásticos sostenibles, biodegradables o de base biológica, para aplicaciones generales y específicas (Siracusa V., 2018).

4. Problemática de los plásticos en el medio ambiente

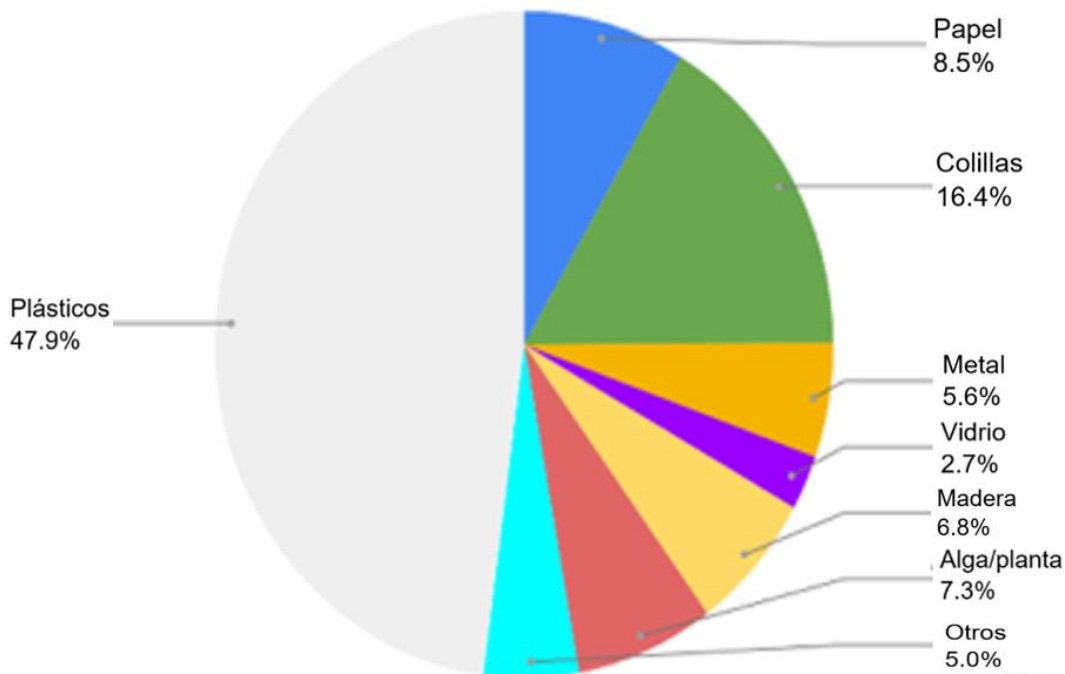
4.1. Mares

El uso de plástico ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas, llevando con ello un crecimiento paralelo de los desechos plásticos inadecuadamente administrados, que finalmente llegan al medio marino (Moore, 2008).

La mayor parte del plástico producido es menos denso que el agua de mar, por lo tanto, los microplásticos derivados flotan en las aguas superficiales del mar, a menos que sean absorbidos por la biota marina o sean bioincrustados por microorganismos que finalmente contribuyen a su sedimentación. El plástico flotante es transportado por los vientos y las corrientes de regreso a la costa o se acumula en alta mar en zonas de agregación (Martin C., 2019).

Hasta ahora se han identificado siete zonas principales de acumulación de plástico marino, cinco correspondientes a los cinco giros oceánicos, uno en el ártico y uno en el mar mediterráneo (Martin C., 2019).

La Gráfica 2 muestra el resultado de un ejercicio de ciencia ciudadana liderado por Greenpeace en el que se estudiaron 42 sitios en 10 ciudades, en diferentes zonas de México: cuatro en la zona del Océano Pacífico, tres en la costa del Caribe mexicano y tres en la costa del Golfo de México. Se obtuvieron 827 fragmentos de basura. De estos, 396 fragmentos correspondieron a materiales plásticos equivalentes al 47.9% del total de la muestra, seguido de las colillas de cigarro con un total de 136 fragmentos (16.4%) del total de la muestra (México, 2018). Tal cantidad de escombros ahora está sofocando el frágil ecosistema marino y envenenando la pesca (Shaw H.-J., 2019).



Gráfica 2. Resultados obtenidos en el muestreo de basura en playas Mexicanas (México, 2018).

4.2. Peces y aves marinas

El primer registro de plástico en el pescado se origina en 1964, cuando Kubota (1990) descubrió que el 62.5% del lanceta de pico largo (*Alepisurus ferox*) contenía plásticos, incluidas botellas de refrescos. En 2015, se registraron al menos 92 especies de peces con plásticos ingeridos, mientras que para el año 2019 se presentaron en 232 especies de peces. Entre ellas, especies comerciales de peces como sardinas y anchoas, lubina, bacalao, pez espada y atún. (Markic A., 2019).

Se ha documentado la ingesta de plástico en más de 200 especies de organismos marinos y es particularmente común en las tortugas marinas, mamíferos marinos y aves marinas. El agua, el sol, el viento y los microorganismos van degradando el plástico vertido al océano hasta convertirlo en diminutas partículas de menos de 0.5 centímetros de largo conocidas como microplásticos (IBERDROLA, 2021), estos se han encontrado en gusanos de playa, percebes de cuello de cisne, medusas, lapas, bígamos, esponjas, anemonas, entre otros, pero también en

especies valiosas para la pesca comercial como los mejillones, ostras, almejas, camarones, langostas y calamares (Markic A., 2019).

5. Uso del plástico en la industria alimentaria

Los plásticos, son los principales materiales de envase y embalaje de alimentos. Debido a que éstos son ligeros e irrompibles, se fabrican en diferentes formas, formatos, colores y grosores. Además, se pueden combinar con otros plásticos u otros materiales como aluminio, papel o metales para mejorar las propiedades que un material por sí sólo no aportaría.

Los plásticos como se mencionó anteriormente, son los más adecuados para envasar alimentos, sin embargo, es necesario considerar que no son inertes, debido a que interactúan con los alimentos que están en contacto con ellos, bajo determinadas condiciones, consecuentemente la selección del plástico es una decisión crítica (Nerin, 2016). La contaminación de los alimentos con microplásticos puede generar efectos adversos a la salud del consumidor como daño en el sistema renal, cardiovascular, gastrointestinal, neurológico, reproductivo y respiratorio (Ciel, 2020). Algunos plásticos pueden ser retirados mecánicamente, pero en otros casos, la interacción con los alimentos no es visible, aunque ocurre (Siracusa, 2016).

Los materiales de embalaje primario de plástico deben diseñarse para el uso previsto. Esto significa que no todos los plásticos en el mercado pueden soportar alimentos grasos o aplicaciones ácidas de temperatura media o alta. En la Tabla 2 se muestran los plásticos más utilizados en el envasado de alimentos, así como sus propiedades fisicoquímicas.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de plásticos utilizados para el envasado de productos alimenticios.

Película	Fuerza de tensión (MPa)	Elongación (%)
PET	-----	300
HDPE	31	120
PVC	65.1	80
LDPE	26.4	650
PP	41.4	600
PS	56.5	2.5

PET, tereftalato de polietileno; HDPE, polietileno de alta densidad; PVC, policloruro de vinilo; LDPE, polietileno de baja densidad; PP; polipropileno; PS, poliestireno (Goodfellow, 2020)

La selección de un plástico como material en contacto con alimentos no es una tarea simple y fácil, ya que se deben considerar varios parámetros para garantizar que la decisión final sea la mejor para salvaguardar la calidad y la seguridad de los alimentos envasados (Nerin, 2016). Además, teniendo en cuenta que alrededor del 25 % del costo en fábrica de los alimentos de consumo es para su embalaje, el incentivo para producir paquetes funcionales a un costo e impacto ambiental mínimo debe ser una alta prioridad para los tecnólogos de envasado de alimentos (Siracusa, 2016).

6. ¿Cómo influye el embalaje en los alimentos?

La protección del envasado de alimentos es un medio para mantener los alimentos siempre en un estado que garantice su duración bajo las condiciones de circulación de almacenamiento complejas. El embalaje se puede utilizar para proporcionar una barrera contra los daños causados por agentes físicos o químicos, como el oxígeno atmosférico, la humedad, la luz, etc., que pueden conducir a reacciones de deterioro (Yun X., 2017). Los envases, deben proteger su contenido de los efectos ambientales externos, como agua, vapor de agua, gases, olores, microorganismos, luz, polvo, golpes, vibraciones, fuerzas de compresión, etc. En general, una vez que se rompe la integridad del paquete, se afecta la conservación del alimento (Robertson, 2013).

Los materiales de embalaje utilizados en el área de los alimentos tienen una amplia gama de funciones, las cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Forma y función de los materiales de embalaje.

Envase Rígido	Envase flexible	Envase Semiflexible	Función del envase
Botella de vidrio o plástico	Bolsa de plástico		Protección de oxígeno
Tarro de vidrio, plástico y metal	Envase de espuma	Tapas y cierre	Variación de temperatura, humedad y luz
Paquete y lata de plástico o metal	Burbuja, envoltura de plástico	Cajas de cartón	Protección biológica contra microorganismos
Tapa, bandeja y tanque	Tubo exprimible	Multimaterial tetrapack [®]	Protección física contra daños
	Envase de pie		Información sobre el producto
	Bolsa de vacío		Identificación del producto

Fuente: (Siracusa, 2016)

La elección del envase dependerá de varios factores como el tipo de alimento que debe protegerse, la barrera físico-química, mecánica y las propiedades ópticas

tienen un papel clave en la selección del material apropiado. Algunas de estas propiedades se describen en la Tabla 4 (Siracusa V., 2018).

Tabla 4. Propiedades generales de los materiales de envase.

Propiedades térmicas	Propiedades mecánicas	Propiedades de barrera	Propiedades ópticas
Temperatura de punto de fusión	Resistencia a la tracción (curva de esfuerzo/deformación)	Permeabilidad y velocidad de transmisión de gas/humedad	Transparencia
Temperatura de transición vítrea			
Calor de fusión (determinación de cristalinidad/fase amorfa)	Resistencia al impacto	Difusividad de gases y humedad	Opacidad
Capacidad calorífica	Resistencia al desgarre		
Conductividad térmica	Resistencia al estallido	Solubilidad en gases y humedad	Brillo

Fuente: (Siracusa, 2016)

7. Parámetros que influyen en la vida útil de alimentos envasados

Las propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de los plásticos para el envasado de alimentos es extremadamente amplia, dadas las posibles combinaciones de polímeros termoplásticos, a menudo combinados con laminaciones con papel o papel de aluminio. Es necesario considerar cuáles son las propiedades necesarias para el producto en la etapa de desarrollo del paquete de cualquier aplicación (Robertson, 2013).

7.1. Propiedades de barrera

La permeabilidad es la transferencia de gases como oxígeno, dióxido de carbono o vapor de agua, a través de la capa polimérica. El permeante se difunde a través del polímero por efecto neto desde el lado de alta concentración hasta el de baja concentración con un permeante que tiene diferentes concentraciones en sus dos lados, en tres pasos: adsorción al polímero, difusión y desorción del polímero, como se muestra en la Figura 1 (Yun X., 2017).

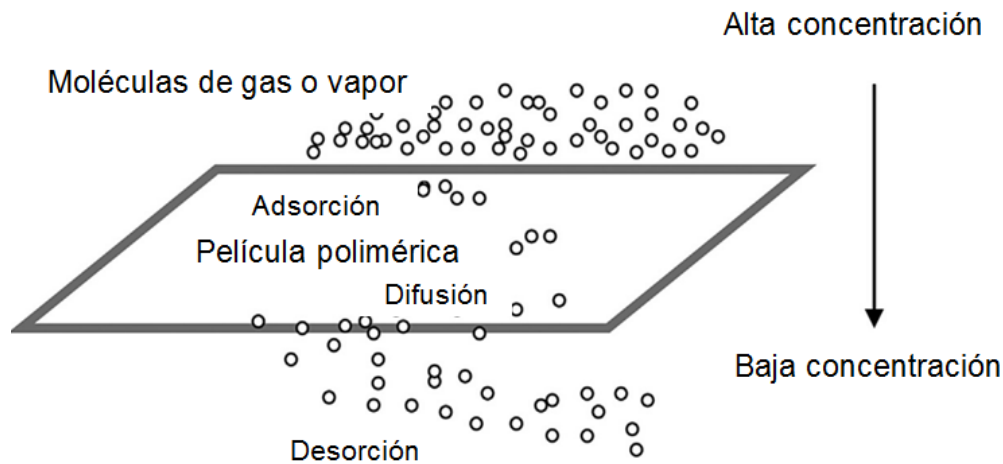


Figura 1. Mecanismo general de un permeante difundiéndose a través de una película polimérica (Yun X., 2017).

Los envases hechos de polímeros termoplásticos son permeables en diversos grados a moléculas pequeñas como gases, vapor de agua, vapores orgánicos y

otros compuestos de bajo peso molecular, por ejemplo, un polímero plástico tiene una baja permeabilidad (Robertson, 2013).

7.2. Oxígeno y dióxido de carbono

La respiración es la toma de oxígeno y la emisión de dióxido de carbono, por lo que esos dos tipos de gas son indispensables para todas las formas de vida, así como para los alimentos. El oxígeno atmosférico generalmente tiene un efecto perjudicial sobre la calidad nutritiva de los alimentos (Turan D., 2017).

La oxidación de los componentes de la matriz alimentaria resulta en la formación de hidroperóxidos, peróxidos y epóxidos, pérdida de vitaminas, entre otros, por lo tanto, para algunos tipos de alimentos es indispensable mantener en una atmósfera baja de oxígeno, o evitar el suministro de oxígeno en el paquete después del sellado. La atmósfera de oxígeno de la mayoría de los alimentos envasados depende en gran medida de la naturaleza del paquete. Además, los productos frescos deben envasarse en películas con una alta permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua (Turan D., 2017).

7.3. Humedad

El deterioro físico y químico de los alimentos también está relacionado con el equilibrio del contenido de humedad y es de gran importancia para mantener o extender la vida útil. Los efectos de la actividad del agua en la conservación de los alimentos se materializan principalmente en los siguientes aspectos.

El crecimiento de microorganismos: el crecimiento de microorganismos depende de la actividad del agua, la temperatura y el pH, principalmente. La actividad del agua es el factor más importante y está directamente asociada con el desarrollo de levaduras, mohos y bacterias en los alimentos (Yun X., 2017). La humedad relativa (HR) por debajo del 60% no favorece el crecimiento de moho, por lo que los alimentos secos son microbiológicamente estables (Yun X., 2017).

Reacciones fisicoquímicas: La actividad del agua modifica las velocidades de las reacciones químicas como el oscurecimiento no enzimático, la oxidación de

lípidos y vitaminas, la desnaturalización de las proteínas, lo que conlleva a la pérdida de calidad (Yun X., 2017).

Propiedades físicas: Los alimentos con actividad de agua (A_w) mayor a 0.85 (Eroski, 2020), suelen ser húmedos, jugosos, tiernos y gomosos. Si se reduce, el nivel del agua puede causar cambios en la textura, en propiedades de dureza, fragilidad, masticabilidad y gomosidad. Los alimentos con actividad de agua menor a 0.6 (Eroski, 2020), generalmente son ligeros y crujientes y se volverán húmedos e insípidos si el envasado no es correcto y permea el vapor de agua. Sin embargo, para los alimentos frescos, es importante evitar la deshidratación y así, mantener sus propiedades sensoriales (Yun X., 2017).

7.4. Propiedades ópticas

Hay una serie de propiedades ópticas de importancia con los polímeros termoplásticos que incluyen claridad, turbidez, color, transmitancia, reflectancia, brillo e índice de refracción. La claridad de una película indica el grado de distorsión de un objeto cuando se ve a través de la película, con una claridad "transparente" que se refiere a la capacidad de la película para resolver detalles finos de imágenes bastante distantes vistas a través de la película (Robertson, 2013).

7.5. Propiedades mecánicas

La fuerza de tensión y el porcentaje de elasticidad son dos de las propiedades mecánicas importantes que los materiales poliméricos deben tener. La fuerza de tensión se define como la fuerza por unidad de área transversal de un material, mientras que la elasticidad, se mide en el punto donde la película se rompe y se expresa como el porcentaje de la muestra después del estiramiento dividido por el largo original (Robertson, 2013).

8. Biopelículas a base de macromoléculas

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, los criterios para que una biopelícula pueda ser aceptada como envase y embalaje de productos alimenticios son: propiedades mecánicas, de barrera y ópticas que garanticen la protección de los alimentos en un estado que garantice su duración bajo las condiciones de circulación de almacenamiento (Robertson, 2013).

Evidentemente, los plásticos convencionales no pueden satisfacer las demandas de desarrollo sostenible de la sociedad moderna. Las investigaciones para explotar el polímero biodegradable y ecológico para reemplazar los productos basados en fósiles son extremadamente urgentes. Se han propuesto como alternativa plásticos biodegradables o bioplásticos con características que coincidan con los convencionales (Muralidharan V., 2019). Los polímeros de base biológica que existían en la biomasa podrían servir como sustitución de los polímeros de base fósil, definida como bioplásticos o plásticos de base biológica por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) (Vert M., 2012). Estos, después de su uso, serán propensos a la degradación y digestión por microorganismos, lo cual minimizará su impacto ecológico desfavorable.

Simultáneamente, la gran cantidad de desechos agrícolas generados por la industria alimentaria ha sido una preocupación creciente, donde sobran alrededor de 1.3 billones de toneladas, lo que se convierte en un problema ambiental y financiera. Entre estos desechos agrícolas, se destacan los desperdicios de alimentos, **el halm y los tallos de vegetales/frutas**, granos y semillas, de los cuales es posible obtener polímeros naturales (Goncalves de Moura I., 2017).

Aunque los materiales de embalaje de base biológica pueden ser biodegradables, esta no es la principal fuerza impulsora detrás de su desarrollo. Más bien, está impulsado por la ambición de reemplazar los recursos no renovables por recursos renovables, lo que conduce a una industria de envases más sostenibles (Robertson, 2013).

8.1. Envases comestibles

El envasado comestible avanza rápidamente utilizando proteínas, polisacáridos, lípidos o resinas, y otros componentes comestibles, derivados de diversas fuentes renovables. Dichos materiales de envasado comestibles están destinados a ser partes integrales de los productos alimenticios y a comerse con los productos, por lo que también son inherentemente biodegradables en el compostaje y otros reciclados biológicos. El envase comestible consiste en películas, láminas, recubrimientos y bolsas comestibles. Las películas comestibles (grosor $<254 \mu\text{m}$) o láminas (grosor $> 254 \mu\text{m}$) son estructuras independientes que se forman por separado de los alimentos y posteriormente se colocan sobre o entre los componentes de los alimentos o se sellan en bolsas comestibles, mientras que los recubrimientos comestibles son capas delgadas de materiales comestibles formados directamente sobre la superficie de los alimentos (Janjarasskul T., 2010).

Se aplican directamente mediante inmersión, pulverización o cepillado, para: crear una atmósfera modificada elevada, evitar la migración de humedad, oxígeno o dióxido de carbono, o de cualquier otro soluto; y sirven como portadores de aditivos alimentarios como antioxidantes, antimicrobianos o nutrientes específicos al tiempo que aumentan la vida útil del producto, o incluso mejorar su calidad en el momento del consumo (Ramos Ó. L., 2012). Muchas de estas funciones son idénticas a las de las películas de envase sintéticas no comestibles. Aunque las características funcionales más importantes para una aplicación particular dependen del producto alimenticio y su modo primario de deterioro, la resistencia de una película o recubrimiento comestible a la migración del vapor de agua es a menudo una característica primordial. Los materiales de envase comestibles son inherentemente biodegradables, lo que se considera uno de sus mayores beneficios, pero también es una de sus mayores limitaciones (Robertson, 2013).

Por otro lado, la ventaja de las películas comestibles también radica en el hecho de que incluso pueden mejorar la calidad de los alimentos, dependiendo de la película o la composición del recubrimiento (Umaraw P., 2020).

En este sentido, la adición de antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes, nanomateriales y probióticos puede mejorar la calidad de los alimentos. Por lo tanto, la investigación de la preparación de películas comestibles se ha dirigido hacia la inclusión de ingredientes funcionales activos que imparten características únicas a las películas o recubrimientos (Umaraw P., 2020).

Las principales ventajas entre las películas comestibles sobre los materiales de envasado poliméricos basados en petroquímicos tradicionales se muestran en la Tabla 5 (Robertson, 2013):

Tabla 5. Cuadro comparativo entre las biopelículas y los envases convencionales.

Películas comestibles	Envases petroquímicos
Se pueden consumir con el producto envasado	Dejan envases residuales
Contribuyen a la reducción de la contaminación ambiental	Generan contaminación ambiental
Se degradan fácilmente	Se degradan lentamente
Se producen a partir de ingredientes renovables y comestibles	Se producen a partir de recursos no renovables

Fuente: (Robertson, 2013)

La mayoría de las películas y recubrimientos comestibles contienen al menos un componente que es un polímero de alto peso molecular, particularmente si se desea una película autoportante. Se requieren estructuras poliméricas de cadena

larga para producir matrices de película con resistencia cohesiva apropiada cuando se depositan a partir de un disolvente adecuado. El aumento de la cohesión estructural generalmente da como resultado una reducción de la flexibilidad, porosidad y permeabilidad de la película a gases, vapores y solutos. A medida que aumenta la longitud de la cadena del polímero y la polaridad, se mejora la cohesión. Una distribución uniforme de grupos polares a lo largo de la cadena del polímero aumenta la cohesión al aumentar la probabilidad de enlaces de hidrógeno entre cadenas e interacciones iónicas (Robertson, 2013).

Los componentes que se utilizan principalmente para sintetizar las películas o revestimientos comestibles se clasifican en cuatro clases principales como: las proteínas, polisacáridos, lípidos, resinas y composites (Hassan B., 2018).

9. Polisacáridos

Los polisacáridos son polímeros naturales, ampliamente utilizados para preparar películas o recubrimientos comestibles que incluyen almidón, celulosa, pectina y derivados de todo esto, pululano, alginatos y quitosano. Se prevé que las películas comestibles a base de polisacáridos sean un bloqueador de oxígeno eficiente debido a su red de hidrógeno bien ordenada. Pero no se comportan bien como barreras de humedad porque son de naturaleza hidrófila. Dependiendo de la concentración del polisacárido, los recubrimientos son incoloros, tienen una apariencia libre de grasa y se pueden aplicar para prolongar la vida útil de frutas, verduras, mariscos o productos cárnicos al reducir significativamente la deshidratación, el oscurecimiento de la superficie y la rancidez oxidativa. Una concentración elevada de polisacáridos en la matriz de la biopelícula resulta en una barrera más afín al vapor de agua y viceversa (Hassan B., 2018).

9.1. Almidón

El almidón es un candidato prometedor para el desarrollo de materiales sostenibles, que se consideran principalmente debido a sus propiedades biodegradables, bajo costo y renovable. Para producir una película a base de almidón similar al plástico, es necesario un alto contenido de agua o plastificantes (glicerol, sorbitol) (Engel J.B., 2019). Sin embargo, debido a la naturaleza hidrofílica de los materiales biopoliméricos, las películas a base de almidón, tienen algunas desventajas, como la alta permeabilidad al vapor de agua, las propiedades mecánicas débiles y la alta sensibilidad a los cambios ambientales como la humedad, la temperatura y el pH (Oleyaei S. A., 2016).

Las propiedades mecánicas de las películas a base de almidón están influenciadas por muchos factores, como la fuente de donde proviene, la relación amilosa/amilopectina y los métodos de preparación. Además, los plastificantes utilizados para reducir la fragilidad de las biopelículas a base de almidón debilitan las propiedades de barrera de estas (Oleyaei S. A., 2016).

A continuación, se enlistan cuatro biopelículas elaboradas a base de almidón y un aditivo funcional y se comparan sus propiedades fisicoquímicas con las películas bioplásticas a base de sólo almidón, además, se muestra la influencia que tienen en los productos alimenticios.

9.2. Procedimiento

De manera general, una vez que se seleccionan los componentes de la película/recubrimiento, estos componentes se mezclan con disolvente hasta su completa disolución. Luego, el plastificante se agrega a la mezcla, así como el ingrediente funcional (como antioxidantes y sustancias antimicrobianas). El pH de la disolución se ajusta y la mezcla se calienta hasta obtener una solución homogénea. Después de enfriar, se pueden aplicar dos posibles estrategias: la primera es, recubrir las muestras de alimentos sumergiéndolas directamente en la solución; o envolver el alimento muestreado con la película obtenida del secado de la disolución. En la primera estrategia, se permite que el exceso de solución de recubrimiento gotee del alimento. Luego, las muestras de alimentos se secan bajo condiciones controladas. Por el contrario, la segunda opción consiste en colar la solución contenida y secarla. Luego, la película se utiliza para cubrir toda la superficie de la muestra de alimentos (Umaraw P., 2020). En la Figura 2 se presenta un esquema general para la elaboración de películas a base de biomoléculas.

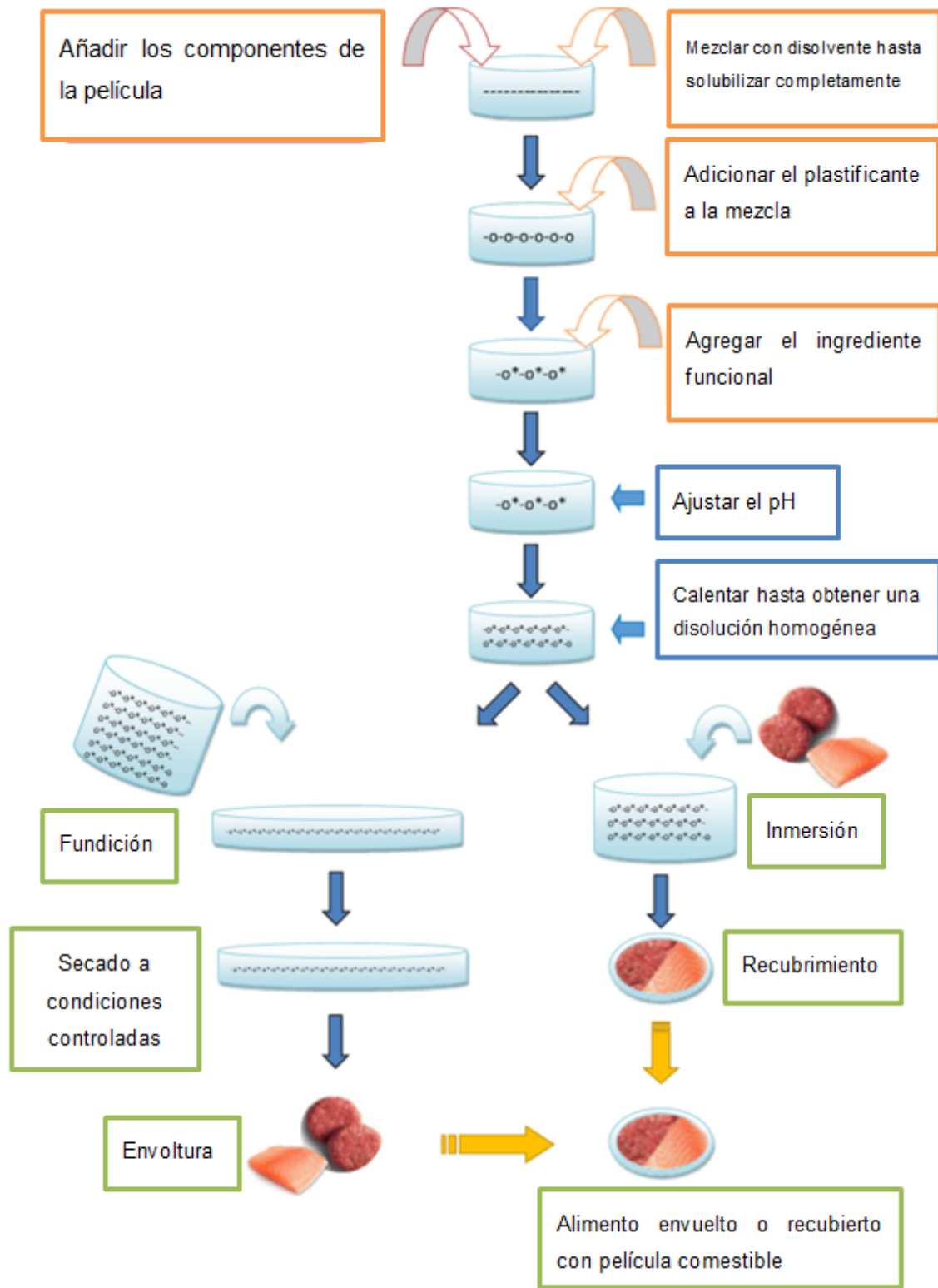


Figura 2. Esquema general para la preparación de películas comestibles con propiedades adecuadas para la conservación de alimentos (Umaraw P., 2020).

9.3. Características físicas

En los estudios mostrados a lo largo de esta tesis, las biopelículas tienen principalmente tres componentes (Tabla 6): almidón, agua y glicerol, estos últimos se añaden para formar películas más plastificadas (Oluwasina O. O., 2019). En el caso del aditivo funcional, se debe adicionar de manera óptima ya que, al haber un exceso de éste, hay una discontinuidad en las películas formadas (Oleyaei S. A., 2016).}

Tabla 6. Materiales utilizados en la elaboración de biopelículas a base de almidón proveniente de distintas fuentes.

Biopelícula	Fuente	Materiales	Aditivo funcional
1	Almidón de maíz	Glicerol y Agua desionizada	TiO ₂
2	Almidón de papa		TiO ₂
3	Almidón de yuca		Almidón oxidado
4	Almidón de yuca		Tallos de uva

Fuentes: (Oleyaei S. A., 2016), (Engel J.B., 2019), (Oluwasina O. O., 2019) y (Ruhul A. Md., 2019).

La biopelícula uno sin el aditivo funcional, presenta una superficie rugosa que consiste en gránulos de almidón que no se gelatinizó completamente durante el proceso de formación, así como, huecos y una superficie fracturada que contribuye a una pobre resistencia a la tracción.

Por otro lado, el bioplástico con TiO₂ presenta una superficie más consistente, con menos vacíos, crestas y surcos, sin embargo, presenta gránulos de TiO₂ no disueltos y de almidón no solubilizados, dando también, una superficie rugosa. Por lo tanto, menos huecos, agujeros y grietas muestran morfologías más compatibles, encontradas en el bioplástico con TiO₂ comparadas con el bioplástico de almidón (Ruhul A. Md., 2019). Al igual que la película anterior, la biopelícula dos, presentó

características físicas similares, además, aquí se observó que a medida que aumenta la cantidad de TiO_2 en la biopelícula, la solubilidad de ésta disminuye, haciéndola una mejor barrera contra la humedad a diferencia de la película sin TiO_2 y así, puede utilizarse para productos con alto contenido de humedad o almacenados a alta humedad relativa (Oleyaei S. A., 2016).

En el caso de la biopelícula tres, que compara un bioplástico a base de almidón de yuca oxidado y no oxidado, el primero mostró una película de mayor grosor. Esta misma película puede tener mayor opacidad y resistencia a la tracción que otras películas, debido a que tiene mayor número de componentes.

Además, el contenido de humedad de la biopelícula producida disminuyó con el aumento de la cantidad de almidón oxidado agregado, mostrando una disminución en la solubilidad. La diferencia en el comportamiento del almidón y el almidón oxidado podría estar relacionada con la conversión de la base funcional hidroxilo del almidón y la formación de nuevos enlaces como la cetona y el aldehído en el almidón oxidado. El resultado de opacidad puede proporcionar información sobre el tamaño de materiales agregados dispersos dentro de la matriz de almidón durante la formación de la biopelícula y así, ser un indicador del número de poros dentro de la biopelícula. Al ser más opaco, el número de poros vacíos es menor, por lo tanto, los alimentos almacenados (frutas, pescado, vegetales) con las biopelículas de almidón oxidado probablemente experimentarían una vida útil más larga que aquellos almacenados con la biopelícula de almidón sin oxidar, al disminuir la permeabilidad de oxígeno, agua y luz (Oluwasina O. O., 2019).

Finalmente, la película cuatro, a base de almidón de yuca sin y con tallos de uva se realizó para la elaboración de espumas termoplásticas. La espuma realizada con tallos de uva presentó una superficie homogénea y densa con una estructura de celda cerrada, por lo tanto, al no detectar aglomeración de partículas, indica una buena dispersión de los tallos de uva en la matriz polimérica.

Sin embargo, el interior mostró una estructura con celdas abiertas grandes, característica de materiales termoplásticos a base de almidón obtenidos por expansión térmica. Por otro lado, la espuma sin tallos de uva presentó vacíos más

pequeños debido a la menor cantidad de agua utilizada en esa formulación y por ende, una densidad mayor que la espuma con tallos de uva (Engel J.B., 2019).

9.4. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas también están influenciadas por la ausencia o adición del aditivo funcional. Las biopelículas uno y dos, presentaron resultados similares; en el caso de las biopelículas sin TiO_2 presentan mayor flexibilidad que las películas compuestas debido a la interacción que tienen las moléculas de TiO_2 con las de almidón lo que se traduce en un aumento en la fuerza de tensión para las biopelículas compuestas pero también, el porcentaje de elongación se ve afectado para el bioplástico con TiO_2 debido a la rigidez que presentan pasando del 88.1% a 62.5% y de 86.70% a 62.79% respectivamente (Ruhul A. Md., 2019).

En la biopelícula tres se observó que al adicionar almidón oxidado la fuerza de tensión aumenta y, a diferencia de las dos películas anteriores, también aumenta el porcentaje de elongación. Una posible explicación es que el grupo hidroxilo de las moléculas de almidón interacciona con los grupos carbonilo de las moléculas de almidón oxidado lo que podría conducir a una longitud de cadena extendida de la molécula de la biopelícula (Oluwasina O. O., 2019).

Finalmente, la espuma termoplástica (biopelícula cuatro), mostró que, al adicionar tallos de uva, la fuerza de tensión disminuye porque la cantidad de agua presente en la espuma es mayor, lo que conlleva a un aumento en la cantidad de celdas en el interior de la espuma y hace que sea más fácil romper la estructura. La densidad de la espuma es inversamente proporcional a la capacidad de expansión de la pasta; las espumas sin tallos de uva son más densas y presentan huecos más pequeños en la estructura interior (Engel J.B., 2019). La comparación de las propiedades mecánicas de las biopelículas a base de almidón sin y con aditivos funcionales se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Comparación de las propiedades mecánicas de biopelículas a base de almidón sin y con aditivos funcionales.

Biopelícula	Almidón		Almidón + aditivo funcional	
	Fuerza de tensión (MPa)	Elongación (%)	Fuerza de tensión (MPa)	Elongación (%)
1	3.55	88.1	3.95	62.5
2	2.66	86.70	3.56	62.79
3	1.14	0.22	1.88	0.45
4	2.9	1.6	2.5	1.6

Fuentes: (Oleyaei S. A., 2016), (Engel J.B., 2019), (Oluwasina O. O., 2019) y (Ruhul A. Md., 2019).

Finalmente se exhibe la prueba de biodegradabilidad para la biopelícula uno y cuatro, la cual consiste en enterrar una parte del bioplástico elaborado sin y con el aditivo funcional en el suelo a una profundidad determinada para después, llevar al laboratorio con la finalidad de mantener la humedad del suelo controlada con rocíos de agua cada determinado tiempo (Ruhul A. Md., 2019).

En este sentido, la Norma Europea EN13432 exige que los plásticos biodegradables tengan un 90% de su masa fragmentada en agua, CO₂ y biomasa después de seis meses (Ruhul A. Md., 2019).

En la Figura 3, se muestra la prueba de biodegradabilidad para las películas a base de almidón de maíz; al cabo de 30 días, la pérdida en peso para la biopelícula sin TiO₂ es más rápida debido a que el TiO₂ no impide la interacción de los microorganismos con el almidón. Contrario a esto, el material compuesto pierde peso más lentamente, sin embargo, según la norma EN13432, ambas

películas cumplen con el criterio para ser considerados plásticos biodegradables (Ruhul A. Md., 2019).


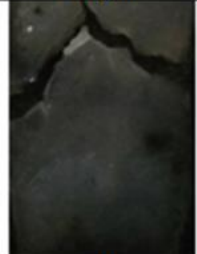




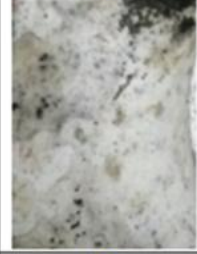

	Día 1	Día 7	Día 15	Día 30
Almidón Bioplástico				
Pérdida de peso	0%	13%	54%	81%
Almidón Bioplástico con TiO ₂				
Pérdida de peso	0%	7%	32%	64%

Figura 3. Monitoreo de la pérdida de peso para la biopelícula de almidón de maíz sin y con TiO₂, (Ruhul A. Md., 2019).

Por otro lado, en la Figura 4, se muestra la prueba de biodegradabilidad para dos espumas termoplásticas a base de almidón sin y con tallos de uva. Después de la quinta semana, las muestras se degradaron rápidamente y, a partir de este momento, la espuma con tallos de uva perdió peso a una velocidad mayor. El efecto de la temperatura, así como los microorganismos presentes en el suelo acortan y debilitan las cadenas de polímeros de almidón, lo que hace que comience el proceso de degradación. Los puentes de hidrógeno y las interacciones entre las moléculas de almidón posiblemente fueron destruidos, lo que condujo al resultado observable macroscópicamente de la degradación del polímero.

La biodegradabilidad también está influenciada por la morfología de las espumas a base de almidón. Las celdas grandes en la estructura de las espumas aumentaron la accesibilidad al ataque de microorganismos, aumentando así la velocidad de degradación. Las bandejas a base de almidón que tenían interiores con huecos

más grandes mostraban una mayor área superficial de contacto enzima-sustrato, acelerando la degradación enzimática del material (Engel J.B., 2019).

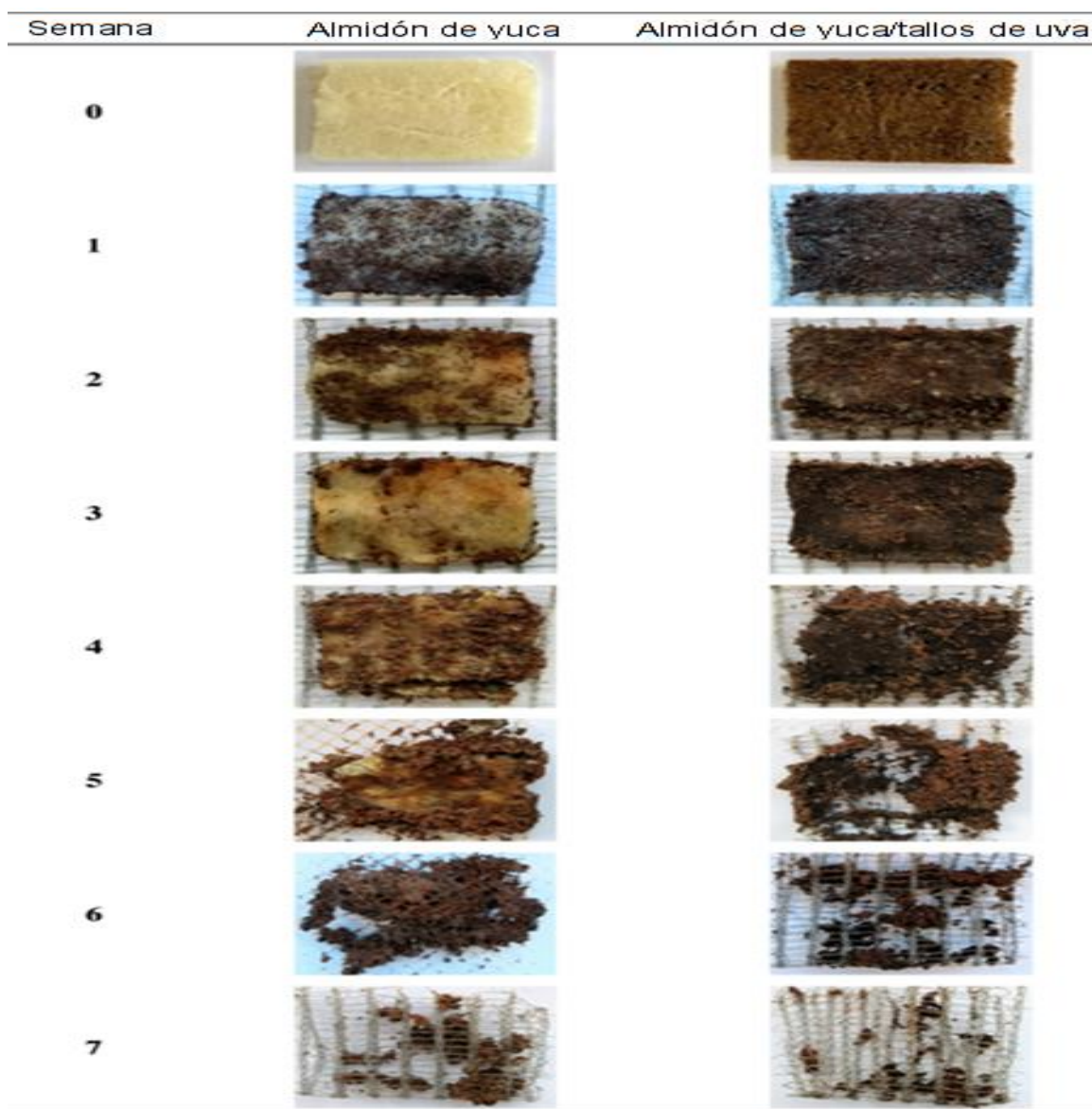


Figura 4. Prueba de biodegradabilidad para espumas a base de almidón sin y con tallos de uva (Engel J.B., 2019).

En el caso de la biopelícula dos, no se realizó una prueba de biodegradabilidad, sin embargo, se probó que las nanopartículas de TiO_2 al 1% en peso (cantidad máxima de aditivo permitido por la FDA) pueden considerarse como la

concentración óptima para hacer las biopelículas compuestas con propiedades físicas y mecánicas mejoradas (Oleyaei S. A., 2016).

Por otro lado, el estudio de la biopelícula tres mostró que la biodegradabilidad del bioplástico puede ser afectada positiva o negativamente por los microorganismos presentes en la naturaleza, el contenido de humedad del suelo, las condiciones climáticas y las propiedades de la biopelícula, como la humedad, la densidad y la presencia de plantas bioactivas.

Para la cantidad de almidón oxidado agregado se observó que a mayor cantidad de este presente en la biopelícula, hay una duración mayor de la biopelícula debido a que el bajo contenido de humedad, la absorción lenta de agua y el hinchamiento de las biopelículas con almidón oxidado puede retrasar la degradación microbiana de la película, ya que la humedad ayuda al deterioro microbiano (Oluwasina O. O., 2019).

10. Proteínas

Por lo mostrado en el capítulo anterior, las biopelículas elaboradas a base de polisacáridos presentan buenas propiedades físicas, mecánicas así como buena biodegradabilidad de acuerdo a la Norma Europea EN13432, sin embargo, la alta afinidad a la humedad que presentan, nos obliga a buscar un biopolímero que presente mejores cualidades. Se han estudiado películas a base de proteínas como alternativa para este problema y se ha demostrado que, la interacción cadena a cadena determina la fuerza de la película comestible, las interacciones más altas producen las películas más fuertes pero son menos permeables a los vapores, líquidos y gases. Así que, las películas o recubrimientos a base de proteínas se consideran bloqueadores de oxígeno altamente efectivos incluso a baja humedad relativa (Hassan B., 2018).

De acuerdo a su solubilidad, las proteínas se clasifican como fibrosas o globulares. Las proteínas fibrosas son insolubles en agua y cumplen una función como materiales estructurales primarios de los tejidos animales, mientras que las proteínas globulares son solubles en agua y disoluciones acuosas de ácidos, bases o sales y realizan diversas funciones en los sistemas vivos. Las proteínas fibrosas se asocian entre sí a través de puentes de hidrógeno para formar fibras. En las proteínas globulares, los enlaces iónicos, covalentes y de hidrógeno están presentes y se pliega en estructuras redondas complejas (Hassan B., 2018).

Las características fisicoquímicas de las proteínas dependen completamente de la disposición de los sustituyentes de aminoácidos y su cantidad relativa a lo largo de la cadena de polímeros. Diferentes tipos de proteínas globulares se han estudiado por sus propiedades de formación de películas/recubrimientos. La disolución o dispersión de proteínas se usa para sintetizar películas y recubrimientos y el solvente usado para este propósito se limita comúnmente a combinaciones de etanol, agua o etanol-agua (Hassan B., 2018).

La adición de polisacáridos en una matriz de proteínas, siendo ambos heteropolímeros complejos, puede promover la formación de interacciones no

covalentes y enlaces intermoleculares entre ellos. Por ello, las mezclas de proteína-polisacárido pueden presentar un amplio abanico de estructuras con diferentes propiedades reológicas y fisicoquímicas que pueden permitir la adecuación de las propiedades finales del material bioplástico (Jiménez-Rosado M., 2019).

10.1. Gluten de trigo

Las proteínas vegetales del trigo muestran una ventaja para su uso como películas y plásticos debido a su disponibilidad, bajo costo, buena biodegradabilidad y propiedades adecuadas. Además, se utilizan principalmente como alimento para animales, por lo que su uso como materia prima en bioplásticos podría aumentar su valor y así, darle una revalorización a un subproducto abundante de la industria alimentaria. Se encontró que las biopelículas elaboradas a base de esta proteína son una barrera contra oxígeno muy efectiva a baja humedad relativa. Por lo tanto, debido a su biodegradación, formación de película, barrera y propiedades mecánicas Jiménez estudió dos biopelículas elaboradas a base de gluten de trigo. En la primera se estudió el efecto que tiene el moldeo por compresión en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico mientras que, en la segunda, se cambió el proceso a extrusión (Jiménez-Rosado M., 2019).

En la Tabla 8 se observan los materiales utilizados en la elaboración de biopelículas a base de proteínas de gluten de trigo. Al igual que las elaboradas a base de polisacáridos, los bioplásticos de proteína tienen el mismo método de preparación (Figura 2) y materiales de elaboración. Sin embargo, aquí se estudió el efecto que existe al cambiar el moldeo por compresión a extrusión, proceso utilizado frecuentemente en la industria (Jiménez-Rosado M., 2019).

Tabla 8. Materiales utilizados en la elaboración de biopelículas a base de proteínas de gluten de trigo.

Biopelícula	Fuente	Materiales	Proceso
5	Gluten de trigo	Glicerol	Compresión
6		Glicerol y agua destilada	Extrusión

Fuentes: (Zubeldía F., 2015) y (Jiménez-Rosado M., 2019).

10.2. Características físicas

La biopelícula cinco se realizó en una concentración del 25% en peso de gluten de trigo, mientras que la biopelícula seis con 50% gluten, 18% glicerol y 32% agua a un pH de 6.

Al cambiar el moldeo por compresión a la extrusión, los bioplásticos obtenidos tuvieron un cambio de color, ligeramente más amarillos, debido a que a temperaturas mayores a 130°C, hay un proceso de degradación térmica de las proteínas presentes en la biopelícula (Jiménez-Rosado M., 2019).

Por otro lado, en el moldeo por compresión se hizo evidente el efecto que tiene la humedad sobre la microestructura de las biopelículas; a mayor concentración de agua, mayor es la movilidad de las cadenas de polímero y así la porosidad de las mismas, aumenta. La apariencia física de ambas biopelículas, cinco y seis, mostraron superficies rugosas. (Zubeldía F., 2015).

10.3. Propiedades mecánicas

Como se observa en la Tabla 9 al cambiar del moldeo por compresión a la extrusión, la fuerza de tensión se afecta negativamente, sin embargo, se favorece la obtención de un material con mayor porcentaje de elongación y a su vez, una mayor solubilidad de la biopelícula. Como se mencionó anteriormente, el proceso de compresión al no tener agua (un agente plastificante) favorece una mayor reticulación entre las moléculas de gluten de trigo, al mismo tiempo, al aumentar la

cantidad de plastificante (biopelícula 6), se tiene una película más deformable pero con menor fuerza a la tracción y a su vez, la solubilidad de la misma aumenta por la interacción del plastificante con las moléculas de agua del medio (Zubeldía F., 2015) y (Jiménez-Rosado M., 2019).

Tabla 9. Propiedades mecánicas y de solubilidad para biopelículas elaboradas a partir de proteína de gluten de trigo.

Biopelícula	Fuerza de tensión (MPa)	Elongación (%)	Solubilidad (%)
5	2.00	39.8	24.06
6*	0.7653	250	29

*Los valores de estas pruebas son aproximados (Jiménez-Rosado M., 2019).

10.4. Proteína de pescado

Las proteínas de pescado tienen algunas propiedades ventajosas para la preparación de bioplásticos, incluidas la plasticidad, la elasticidad, la capacidad de formar redes y la capacidad de servir como una buena barrera de oxígeno (Tunc S., 2007).

A continuación, se muestran dos estudios realizados a películas bioplásticas elaboradas a base de proteína de pescado.

En el estudio uno, se realizaron dos tipos de películas, una a base de proteína muscular miofibrilar (MMP) y otra a base de aislado de proteína residual (RPI). Es importante mencionar que el contenido de proteínas tanto en MMP y RPI, es elevado con 82.42 y 81.62 por ciento, respectivamente.

A partir de esto, se realizaron tres biopelículas de cada proteína con una composición en peso de 3, 4 y 5% y se les midieron propiedades como el espesor y la solubilidad en una primera instancia (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje de proteína de pescado contenido en tres biopelículas a base de MMP y RPI con su espesor y solubilidad.

Biopelícula	Proteína (%)	Espesor (mm)	Solubilidad (%)
7	3 MMP	0.137	26.98
8	4 MMP	0.173	26.55
9	5 MMP	0.223	28.01
10	3 RPI	0.132	31.19
11	4 RPI	0.168	35.73
12	5 RPI	0.230	34.69

MMP, proteína muscular miofibrilar; RPI, aislado de proteína residual (Da Rosa Zavareze E., 2014).

Para el espesor de la película, se observó, que a medida que se aumenta la concentración de proteína, éste aumenta. Por otro lado, la solubilidad en las biopelículas a base de MMP no se afecta al aumentar la concentración de proteína, contrario a las biopelículas de RPI, por lo tanto, las biopelículas de RPI son más solubles que las de MMP (Da Rosa Zavareze E., 2014).

10.5. Características físicas

Las películas producidas con 3% y 5% de RPI presentaron una superficie más rugosa que las de igual concentración pero de MMP. Además, las secciones transversales de las películas de RPI al 3% y 5%, así como la de MMP al 3%, mostraron una estructura interna más homogénea en comparación con la biopelícula de MMP al 5%.

La película con menor concentración de MMP presentó una superficie más homogénea y lisa en comparación con las otras formulaciones. El alto nivel de homogeneidad está relacionado con la mejor compatibilidad entre los

componentes de la película, es decir, una mejor interacción entre la concentración de proteína y plastificante (Da Rosa Zavareze E., 2014)

10.6. Propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua

En la Tabla 11 se presenta un estudio que incluye el porcentaje de proteína de seis biopelículas elaboradas con MMP y RPI así como sus propiedades mecánicas y la permeabilidad al vapor de agua.

Tabla 11. Propiedades mecánicas de biopelículas de pescado a base de MMP y RPI.

Biopelícula	Proteína (%)	Fuerza de tensión (MPa)	Elongación (%)	Permeabilidad al vapor de agua (g·mm/kPa·día·m ²)
7	3 MMP	4.09	193.07	2.25
8	4 MMP	5.43	173.20	2.26
9	5 MMP	5.76	102.60	4.10
10	3 RPI	5.41	251.40	2.50
11	4 RPI	5.64	227.20	2.87
12	5 RPI	5.72	212.80	3.26

MMP, proteína muscular miofibrilar; RPI, aislado de proteína residual (Da Rosa Zavareze E., 2014).

Al aumentar la concentración de proteína RPI no se afecta la fuerza de tensión. Sin embargo, para las de MMP, las películas de concentración más baja (3%), mostraron una fuerza de tensión menor que las de concentración a 4% y 5%. El porcentaje de elongación se vio afectado de manera inversa para ambas biopelículas, a mayor concentración de proteína, menor porcentaje de elongación.

En el caso de la permeabilidad al vapor de agua (WVP), se observó, que las biopelículas con mayor porcentaje de proteína (5%), presentaron una WVP más alta. Las películas de proteína de pescado tienen alta absorción de agua y WVP debido a la hidrofilia de los aminoácidos de las moléculas de proteínas y cantidades significativas de plastificantes hidrófilos como el glicerol (Da Rosa Zavareze E., 2014).

Por los resultados anteriores, se analiza el estudio dos, que tiene como objetivo, definir las condiciones experimentales más adecuadas para la elaboración de películas biodegradables.

10.7. Parámetros óptimos en la elaboración de plásticos biodegradables

En el estudio dos, se compararon las propiedades fisicoquímicas de bioplásticos elaborados a partir de proteínas miofibrilares del pescado bagre dorado por el método estadístico “metodología de superficie de respuesta”.

En la Tabla 12 se muestran las variables estudiadas que afectan la elaboración de bioplásticos, así como los parámetros utilizados en las biopelículas de este estudio.

Tabla 12: Definición de los niveles de las cinco variables estudiadas en la elaboración de películas biodegradables.

Parámetro	Biopelícula A	Biopelícula B	Biopelícula C
MP (%)	1.0	1.5	2.0
Plastificante (%)	30	40	50
T baño (°C)	50	70	90
T secado (°C)	25	30	35
Tiempo secado (h)	16	20	24

MP, proteína miofibrilar; T baño, temperatura del baño; T secado, temperatura de secado (Araújo C.S., 2018).

La concentración de proteína miofibrilar fue la única variable con efectos significativos cuando se evaluó la permeabilidad al vapor de agua, dando como resultado la misma tendencia que la mostrada en el estudio uno, es decir, la permeabilidad al vapor de agua aumenta al incrementar la concentración de proteínas miofibrilares. Además, un aumento en la concentración de proteína, aumenta la fuerza de tracción, mostrando así, una mayor resistencia del bioplástico. Sin embargo, la fuerza de tracción mostró un efecto significativo en relación a la concentración de plastificante, donde un aumento en la concentración de plastificante, provocó una disminución en la fuerza de tracción del bioplástico que se volvió más débil. (Da Rosa Zavareze E., 2014) y (Araújo C.S., 2018).

La temperatura del baño de agua, así como la temperatura y tiempo de secado no mostraron efectos significativos sobre la fuerza de tracción. Sólo la concentración de proteína miofibrilar mostró un efecto significativo en relación al alargamiento, lo que indica que un aumento en la concentración, provoca una disminución en el porcentaje de elongación, produciendo películas menos elásticas. Una característica importante es la opacidad de la biopelícula y se observó que, los bioplásticos con altas concentraciones de MP son más opacos. Por lo tanto, las concentraciones bajas de MP favorecen la elaboración de películas más translúcidas (Araújo C.S., 2018).

De acuerdo a estos datos, cuyos valores son omitidos por mostrar la misma tendencia que los resultados reportados por (Da Rosa Zavareze E., 2014), a continuación se muestra un bioplástico elaborado con las condiciones óptimas encontradas estadísticamente en la elaboración de una biopelícula a base de proteínas del pescado bagre dorado.

Entonces, la concentración de 0.79% de MP y 40% (Tabla 13) de plastificante se eligió para el estudio de las propiedades fisicoquímicas, debido a que produjeron los mejores rendimientos mecánicos y de barrera de dicha biopelícula.

Tabla 13. Parámetros óptimos de elaboración para la biopelícula a partir de proteínas miofibrilares de pescado bagre dorado.

Parámetro	Biopelícula óptima
MP (%)	0.79
Plastificante (%)	40
Temperatura del baño (°C)	50
Temperatura de secado (°C)	25
Tiempo secado (h)	16

MP, proteína miofibrilar (Araújo C.S., 2018).

El alargamiento del bioplástico producido fue de 178.08% (Tabla 14). Este comportamiento está directamente relacionado con la concentración del plastificante agregado a la disolución filmogénica, debido a la capacidad del glicerol para disminuir las interacciones entre las cadenas de polímero, reduciendo así, la resistencia a la tracción (4.915 ± 1.010 MPa) y aumentando la flexibilidad del bioplástico (Hassan B., 2018).

Tabla 14. Propiedades fisicoquímicas del bioplástico optimizado obtenido de proteínas miofibrilares de bagre dorado.

Biopelícula	Propiedad fisicoquímica	Resultado
13	Elongación (%)	178.08
	Fuerza de tracción (MPa)	4.915
	Espesor (mm)	0.033
	WVP ($\times 10^{-11}$ gm/m ² ·s·Pa)	6.42
	Solubilidad (%)	19.46

WVP, permeabilidad al vapor de agua (Araújo C.S., 2018).

El espesor del bioplástico optimizado fue de 0.033mm, lo que está directamente relacionado con la concentración de MP (0.78%). El uso de concentraciones más altas de proteína, induce una mayor formación de sólidos en la matriz polimérica después del secado, aumentando así el espesor de los bioplásticos. Además, el bioplástico optimizado tenía una permeabilidad al vapor de agua y solubilidad más baja (6.42 ± 0.041 y 19.46 ± 0.028 , respectivamente) que resultó de una menor adición de MP.

La solubilidad del bioplástico resulta de la pérdida de la integridad estructural de la película, la hidrofobicidad del plastificante y el grado de desnaturalización de proteínas. Al ser ambas bajas, el bioplástico obtenido tuvo buena interacción en sus componentes y así, excelentes propiedades fisicoquímicas (Araújo C.S., 2018).

Por lo tanto, las condiciones de elaboración de películas biodegradables dependen de la función que debe de cumplir éste en el alimento a envasar pero la baja concentración de proteína miofibrilar y de plastificante, ayudan a obtener una película con mejores propiedades fisicoquímicas. La Figura 5 muestra la biopelícula optimizada elaborada por Araújo y colaboradores.



Figura 5. Bioplástico obtenido con los parámetros óptimos de elaboración (Araújo C.S., 2018).

Discusión

La elaboración de bioplásticos a base de polímeros naturales, depende de las propiedades fisicoquímicas del alimento que cubrirá y de las propiedades de la película que requiera. Éstos pueden ser elaborados a base de polisacáridos o proteínas, los cuales se obtienen con facilidad de diferentes fuentes. Los polisacáridos son ampliamente utilizados en la vida diaria, algunos son: sacarosa, almidón, fructosa, pectinas, entre otros (Kaplan, 1998). Por otro lado, el caso del gluten de trigo es un subproducto obtenido por la industria del bioetanol (Jiménez-Rosado M., 2019), mientras que las proteínas miofibrilares son obtenidas de residuos de pescado (Da Rosa Zavareze E., 2014).

Por otro lado, las propiedades más relevantes de los plásticos convencionales como material de envase son las propiedades de barrera, propiedades mecánicas y propiedades ópticas. Estas propiedades influyen fuertemente en varias características clave del material de empaque terminado, como la resistencia, la transparencia y la capacidad de evitar la migración de oxígeno y el vapor de agua (Alojaly H., 2020).

A manera de ejemplo, los datos proporcionados, son aproximados; la velocidad de migración de vapor de agua del poliestireno es mayor ($175 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ por día) que la del cloruro de polivinilo ($45 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ por día) y la velocidad de migración de gases como el oxígeno ($5500 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ por día) y dióxido de carbono ($900 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ por día), son mayores que los del polietileno de alta densidad (700 y $200 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ por día, respectivamente) por lo que lo hacen un plástico con pobres propiedades de barrera en el envasado de alimentos como carne, verduras, pan, entre otros (Alojaly H., 2020).

Sin embargo, el poliestireno es ampliamente utilizado para contener dichos alimentos debido a sus buenas propiedades aplicadas como alta rigidez, resistencia (Tabla 2), bajo costo y peso ligero. El monómero de estireno que permanece en los productos de poliestireno tiene el potencial de migrar al alimento

en contacto con el material de empaque y éste fue catalogado como carcinógeno (Abolghasemi-Fakhri L., 2019).

Engel y colaboradores en 2019, estudiaron como alternativa a las espumas de poliestireno, almidón de yuca con tallos de uva, los cuales son ricos en fibras lignocelulósicas. Estas espumas resultaron ser menos elásticas con un porcentaje de elongación de 1.6%, mientras que las de poliestireno tienen 2.5%. La gran diferencia radica en la fuerza de tensión con 56.5 MPa para el poliestireno y 2.5 MPa para el bioplástico. Sin embargo, el bioplástico resultó ser tan rígido como el plástico convencional y así, puede reemplazar el envase tradicional en productos como carne, pescado, verdura y pan.

Otro plástico utilizado en el embalaje de productos alimenticios que tienen una excelente propiedad de barrera a la humedad es el polietileno de alta densidad (10 cm³/m² por día) que es utilizado en el envasado de productos como cereales y harinas (Alojaly H., 2020). En este caso, ningún bioplástico de los mostrados aquí tiene una fuerza de tensión similar (31 MPa); la biopelícula 9 (5.64 MPa), que tuvo mejor fuerza de tensión entre las mostradas en este trabajo, es inferior al del polietileno de alta densidad. Sin embargo, el porcentaje de elongación y la permeabilidad al vapor de agua son similares a las del poliestireno, por ello se puede reemplazar parcialmente el uso del polietileno de alta densidad por biopelículas elaboradas a partir de proteínas de pescado en el envasado de alimentos frescos; pescados y mariscos principalmente, carne, pollo y verduras (Da Rosa Zavareze E., 2014).

De manera general, las biopelículas que mostraron las propiedades mecánicas más bajas pueden ser utilizadas como empaques para los alimentos que se venden a granel como las; semillas, chiles deshidratados, confitería, entre otros, mitigando así, los plásticos de un solo uso en donde son comercializados estos productos y así, las propiedades fisicoquímicas de los empaques garantizan la conservación de los atributos de dichos alimentos, en condiciones de uso óptimas. Esto quiere decir que, el uso de estas biopelículas no se restringe a un tipo de alimento en particular, sino al uso que se le vaya a dar y a una serie de

parámetros a tener en cuenta como: durabilidad del producto en anaquel, lugar de venta y principalmente, producto a envasar.

Sin embargo, la elaboración de dichos materiales aún se encuentra en una etapa temprana y hoy en día, resulta costoso y no viable, comercializar productos a granel envasados en bioplásticos, aun cuando éstos se realicen en un proceso de extrusión (Jiménez-Rosado M., 2019) ya que, al ser productos expuestos al medio ambiente, no mantienen sus propiedades sensoriales y no es necesario utilizar un envase con altas propiedades de barrera que implique la explotación de recursos como macromoléculas, energía eléctrica y un proceso de fabricación complejo para estos productos que están expuestos al aire libre desde un inicio.

Las biopelículas elaboradas a partir de polisacáridos son principalmente utilizadas como embalaje terciario (Anexo I), sin embargo, hacer una mezcla de polisacáridos con un aditivo que pueda potenciar sus características, las convertirá en una mejor opción para ser utilizadas como protección de alimentos.

Por otro lado, la solubilidad de las biopelículas, así como la permeabilidad al vapor de agua no son comparables con las de los plásticos convencionales, sin embargo, si la aplicación de la biopelícula es adecuada, se puede garantizar una mayor durabilidad del producto, preservando así los atributos de los alimentos.

Por otro lado, se están desarrollando envases activos que van más allá de la protección del producto y la presentación de la marca, impartiendo funciones como el control de la humedad, por ejemplo, almohadillas utilizadas para absorber el goteo de las bandejas de envasado de carne, aves y pescado con un doble efecto antimicrobiano debido a la incorporación de un emisor de dióxido de carbono y un compuesto antimicrobiano; actividad antioxidante, por ejemplo, los sobres que eliminan o capturan el oxígeno o etileno residual del interior del envase para reducir la exposición del alimento al oxígeno y así, evitar el crecimiento microbiano, prolongando la vida útil de los alimentos (Enescu D., 2019).

Por ejemplo, Farajpour en 2020 adicionó nanopartículas de zeína y aceite de oliva a biopelículas elaboradas a partir de almidón de papa y con esto, disminuyó hasta en un 50% la permeabilidad al vapor de agua de dicha biopelícula. Una

aproximación similar fue la realizada por Dinika en 2019 en la que se adicionó suero de queso a biopelículas elaboradas a base de polisacáridos, resulta en un envase bioactivo que prolonga la vida útil de productos alimenticios como la carne, pescado y sus derivados por la alta actividad antimicrobiana que presenta (Umaraw P., 2020).

La principal ventaja que presentan las películas a base de macromoléculas es la biodegradabilidad que tienen, menor a seis meses, además, de acuerdo a su composición y producto a envasar, la combinación de bioplásticos a base de polisacáridos y de proteínas puede solucionar el embalaje de varios alimentos en fresco como son la carne, pescado, pan, frutas, verduras, entre otros.

Como se mencionó anteriormente, el empaque de productos de primera necesidad como la carne, el pescado y sus derivados, puede ser sustituido con estas biopelículas, así como los productos que se venden a granel en tiendas de conveniencia y mercados sobre ruedas Sin embargo, la principal desventaja de estas biopelículas son las condiciones comparativamente estrictas para su preparación, comparadas con los de los plásticos petroquímicos, por ejemplo, los plásticos convencionales son eficientes al tratarlos en temperaturas elevadas para moldearlos por extrusión, contrario a lo que sucede con las películas elaboradas a base de proteínas de gluten de trigo, que como se mencionó, al calentarse, comienzan a generar reacciones de reticulación dando como resultado un aumento en la viscosidad de la mezcla a tratar y con ello, al tamaño de poro de la biopelícula final, espesor, color, entre otros, resultando en películas con propiedades de permeabilidad al vapor de agua deficientes y dando con una alta fuerza de tensión pero bajo porcentaje de elongación, así como una superficie con grietas y grumos (Jiménez-Rosado M., 2019).

Otro ejemplo, la industria de comida rápida comercializa alimentos que se sirven en un mismo recipiente; pescado frito, arroz, papas, entre otros, estas biopelículas funcionan para proteger los alimentos y tener un producto con compartimentos dentro del mismo recipiente y al tener la ventaja de estar elaboradas a base de

macromoléculas, el consumidor las puede ingerir sin problema alguno, siempre y cuando no sean elaboradas a partir de un alérgeno, como el caso del gluten.

Entonces, las biopelículas elaboradas a base de macromoléculas son una fuente potencial para reemplazar a los plásticos convencionales, sin embargo, para poder reemplazar a los plásticos convencionales a gran escala hace falta encontrar una macromolécula o mezcla de ellas que ofrezca propiedades fisicoquímicas superiores a las mostradas en este trabajo, también, la implementación de maquinaria con capacidad de realizar lo elaborado a nivel laboratorio, a gran escala.

Además, falta realizar difusión sobre los beneficios que producen estas biopelículas para que el consumidor dimensione el efecto que tienen en el medio ambiente y por consiguiente en los seres vivos y, crear conciencia sobre el uso irracional de plásticos convencionales.

Conclusiones

Los bioplásticos obtenidos a partir de polisacáridos y proteínas tienen una mejora significativa en las propiedades fisicoquímicas al incorporar en su matriz un aditivo funcional, haciéndolas más adecuadas en el envasado de alimentos.

La permeabilidad al vapor de agua, la fuerza de tensión y el porcentaje de elongación son las características principales al elegir un bioplástico como material de envase de un alimento.

La fuerza de tensión y el porcentaje de elongación, genera películas elásticas y de baja permeabilidad al vapor de agua, influyendo de manera directa en la vida de anaquel del producto.

Las propiedades fisicoquímicas de los bioplásticos no son comparables con los plásticos convencionales, sin embargo, algunos de ellos pueden ser reemplazados por biopelículas, garantizando las propiedades sensoriales del alimento y disminuyendo la contaminación ambiental.

Anexo I

Envase: Es cualquier objeto que contiene o guarda un producto líquido, sólido, granulado, cremoso y en polvo. Está en contacto directo con el producto y también es conocido como embalaje primario, (Robertson, 2013).

Empaque: También conocido como embalaje secundario, contiene al embalaje primario y tiene como función principal exhibir, identificar y facilitar la venta y/o uso del producto, (Robertson, 2013).

Embalaje terciario: Contiene al embalaje secundario y su función es: almacenar, proteger, transportar y conservar varias unidades del mismo producto en grandes cantidades, (Robertson, 2013).

Bibliografía

- Abolghasemi-Fakhri L., G. B. (2019). Styrene monomer migration from polystyrene based food packaging nanocomposite: effect of clay and ZnO nanoparticles. *Food and chemical toxicology*, 129, 77.
- Alojaly H., B. K. (2020). Packaging with plastics and polymeric materials. *Encyclopedia of materials: Plastics and polymers*, 4-6.
- Araújo C.S., R. A. (2018). Optimizing process parameters to obtain a bioplastic using proteins from fish byproducts through the response surface methodology. *Food packaging and shelf life*, 16, 22.
- Arfat Y. A., B. S. (2014). Development and characterization of blend films based on fish protein isolate and fish skin gelatin. *Food hydrocolloids*, 3.
- Charles W., W. L. (2009). Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste. *Bioresource technology*, 100, 2329-2330.
- Ciel. (21 de Noviembre de 2020). www.ciel.org. Obtenido de <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/03/Plastic-Health-Spanish.pdf>
- Da Rosa Zavareze E., M. E.-H. (2014). Mechanical, barrier and morphological properties of biodegradable films based on muscle and waste proteins from the whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*). *Journal of food processing and preservation*, 1974-1981.
- Dinika I., U. G. (2019). Cheese whey as potential resource for antimicrobial edible film and active packaging production. *Food and raw materials*, 7(2), 229-234.
- Enescu D., C. M. (2019). Recent advances and challenges on applications of nanotechnology in food packaging. A literature review. *Food and chemical toxicology*, 3.

- Engel J.B., A. A. (2019). Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. *Carbohydrate polymers*, 225, 1-2.
- Eroski, c. (20 de Noviembre de 2020). *www.consumer.es*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=aw+en+alimentos&rlz=1C1GCEV_enMX879MX881&oq=aw+en+alimentos+&aqs=chrome.0.69i59j69i57j512j69i60l3.2214j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Farajpour R., D. Z. (2020). Structural and physico-mechanical properties of potato starch-olive oil edible films reinforced with zein nanoparticles. *Biological macromolecules*, 943.
- Goncalves de Moura I., V. d. (2017). Bioplastics from agro-wastes for food packaging applications. *Food packaging*, 223-224.
- Goodfellow. (21 de Noviembre de 2020). *Goodfellow "Su proveedor global de materiales"*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/sp/>
- Guillaume C., P. J. (2010). Wheat gluten-coated papers for bio-based food packaging: Structure, surface and transfer properties. *Food research international*, 43, 1395-1396.
- Hassan B., S. S. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International journal of biological macromolecules*, 1097.
- IBERDROLA. (27 de Julio de 2021). *iberdrola.com*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/microplasticos-amenaza-para-la-salud>
- Ingrao C., G. M. (2017). An attributional life cycle assessment application experience to highlight environmental hotspots in the production of foamy polylactic acid trays for fresh-food packaging usage. *Cleaner production*, 2.
- Janjarasskul T., K. J. (2010). Edible packaging materials. *Annual review of food science and technology*, 416.

- Jiménez-Rosado M., Z.-R. L. (2019). Bioplastics based on wheat gluten processed by extrusion. *Journal of cleaner production*, 1.
- Kaplan, D. (1998). High molecular weight polylactic acid polymers. En D. Kaplan, *Biopolymers from renewable resources* (págs. 367-393). New York: Springer.
- Leal W., S. U. (2019). An overview of the problems posed by plastic products and the role of extended producer responsibility in Europe. *Journal of cleaner production*, 214, 550-551.
- Markic A., G. J. (2019). Plastic ingestion by marine fish in the wild. *Critical reviews in environmental science and technology*, 2.
- Martin C., A. S. (2019). Seasonality of marine plastic abundance in central red sea pelagic waters. *Science of the total environment*, 688, 537.
- México, G. (25 de Octubre de 2018). *Plástico, principal residuo en playas de México; Coca Cola, PepsiCo y Nestlé son los dueños de esa basura*. Recuperado el 14 de 01 de 2020, de <https://www.greenpeace.org/mexico/noticia/1233/plastico-principal-residuo-en-playas-de-mexico-coca-cola-pepsico-y-nestle-son-los-duenos-de-esa-basura/>
- Moharir R. V., K. S. (2018). Challenges associates with plastic waste disposal and allied microbial routes for its effective degradation: A comprehensive review. *Journal of cleaner production*, 2.
- Moore, C. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*, 108, 135.
- Morten W. R., M. Z. (2019). Global environmental losses of plastics across their value chains. *Resources, conservation & recycling*, 151, 1.
- Muralidharan V., A. M. (2019). Tannery trimming waste based biodegradable bioplastic: Facile synthesis and characterization of properties. *Polymer testing*, 4.

- Nerin, C. (2016). Plastics and polymers for food packaging manufacturing. *Food science*, 1.
- Oleyaei S. A., Z. Y. (2016). Modification of physicochemical and thermal properties of starch films by incorporation of TiO₂ nanoparticles. *Biological macromolecules*, 5-15.
- Oluwasina O. O., O. F. (2019). Influence of oxidized starch on physicomechanical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *Biological macromolecules*, 282-292.
- Patni N., Y. P. (2014). An overview on the role of wheat gluten as a viable substitute for biodegradable plastics. *Reviews in chemical engineering* , 30(4), 421-425.
- Ramos Ó. L., F. J. (2012). Edible films and coatings from whey proteins: A review on formulation, and on mechanical and bioactive properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 533.
- Robertson, G. L. (2013). Food packaging, principles and practice. *The stability and shelf life of food*, 30-100.
- Ruhul A. Md., A. C. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5, 1-11.
- Shaw H.-J., C. W.-L.-H. (2019). A CFD study on the performance of a passive ocean plastic collector under rough sea conditions. *Ocean engineering*, 188, 1-2.
- Siracusa V., L. N. (2018). Biobased plastics for food packaging. *Reference module in food sciences*, 1.
- Siracusa, V. (2016). Packaging material in the food industry. *Antimicrobial food packaging*, 95-98.

- Tunc S., A. H. (2007). Functional properties of wheat gluten/montmorillonite nanocomposites films processed by casting. *Journal of membrane science*, 289, 159.
- Turan D., S. S. (2017). Gas permeabilities of polyurethane film for fresh produce packaging: Response of O₂ permeability to temperature and relative humidity. *Polymer testing*, 3.
- Umaraw P., M. P. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in food science & technology*, 98, 12-13.
- Vert M., D. Y.-H. (2012). Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). *Pure and applied chemistry*, 84(2), 383.
- Yun X., D. T. (2017). Fabrication of high-barrier plastics and its application in food packaging. *Food packaging*, 149.
- Zabihzadeh M., M. R. (2019). Strategies for controlling release of plastics compounds into foodstuffs based on application of nanoparticles and its potential health issues. *Trends in food science & technology*, 90, 1.
- Zubeldía F., A. M. (2015). Wheat gluten films obtained by compression molding. *polymer testing*, 68-77.