

Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria

Francisned Guaña-Escobar¹; María Vaca-Tenorio²; Javier Aguilar-Morales³

(Recibido: diciembre 5, 2021, Aceptado: marzo 26, 2022)

<https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss10.2022pp18-32p>

Resumen

La conservación de productos ha supuesto un gran desafío para la industria alimentaria dadas las exigencias de los consumidores en cuanto a tener alternativas de envasado que sean ecológicas y útiles; lo que ha desencadenado investigaciones de distintos métodos que cumplan con estos parámetros. En este trabajo se realizó una revisión de literatura en Google Scholar, Ebook Central y Scielo, con las palabras claves como “envases activos”, “envases inteligentes”, “envases comestibles”, “diseño de envases y nutrición”, “diseño de envases alimentarios multifuncionales”, “valor nutricional de los envases”, “envases sostenibles”, “biopelículas”, “polímeros” y “conservación de alimentos”. Los resultados evidencian la utilización de envases activos, particularmente las biopelículas a base de polisacáridos, proteínas y lípidos, con beneficios tanto en las propiedades químicas como mecánicas, sin alteraciones notorias en la calidad nutricional y organoléptica de los alimentos en donde se utilizaron como recubrimientos. Las biopelículas son el envase activo con más posibilidades de ser comercializado, por su bajo costo de producción y materiales de fácil acceso, beneficiando a todos los actores de la cadena alimentaria. Se concluye que las biopelículas a base de polisacáridos y proteínas poseen menor permeabilidad, pero son útiles en la reducción de tasas de respiración. Desarrolladas a base de lípidos presentan una mayor reducción de la desecación de los alimentos. Además de que su aplicación beneficia a la industria alimentaria tanto en la reducción de desechos no degradables como en la reducción de costos. Sin embargo, se necesitan más estudios sobre la interacción de estos materiales de manera conjunta.

Palabras Clave: biopelícula; conservación; envase activo; envase inteligente; polímeros.

Biofilms and active packaging, new technologies in the alimentary industry

Abstract

For the food industry, the preservation of products has been a great challenge due to the demand of the consumer regarding packaging alternatives that are ecological and useful, which has triggered investigations of different methods that comply with these parameters. A bibliographic review of 38 articles from databases such as Google Scholar, Ebook Central and Scielo was carried out, in which keywords such as "active packaging", "smart packaging", "edible packaging", "packaging design and nutrition", "multifunctional food packaging design", "nutritional value of packaging", "sustainable packaging", "biofilms", "polymers" and "food preservation". The results show the use of active packaging, particularly biofilms based on polysaccharides, proteins and lipids, show great benefits in both chemical and mechanical properties, without noticeable alterations in the nutritional and organoleptic quality of the foods where they were used as coatings. Conclusion: The biofilms based on polysaccharides and proteins have lower permeability, but are useful in reducing respiration rates. Those that are developed based on lipids reduce the desiccation of food. However, more studies are needed on the interaction of these materials together. In addition, its application benefits the food industry both in reducing non-degradable waste and reducing costs. However, more studies are needed on the interaction of these materials together.

Keywords: biofilm; conservation; active packaging; smart packaging; polymers.

¹ Estudiante de pregrado, Carrera de Nutrición y Dietética, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Ambato. Av. Colombia y Chile. Ambato-Ecuador. Email: rguana2280@uta.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5915-7438>

² Estudiante de pregrado, Carrera de Nutrición y Dietética, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Ambato. Av. Colombia y Chile. Ambato-Ecuador. Email: mvaca4902@uta.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3086-1034>

³ Estudiante de pregrado, Carrera de Nutrición y Dietética, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Ambato. Av. Colombia y Chile. Ambato-Ecuador. Email: baguilar2732@uta.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6754-6759>

INTRODUCCIÓN

Desde siempre, la conservación de alimentos ha supuesto un gran reto para la industria alimentaria, pues dependerá de cuán eficaz y eficiente sea ésta para que un alimento pueda ser considerado de buena calidad, seguro e inocuo. El envasado es el método tradicional más sencillo y efectivo para asegurar que el alimento contenido no sufra daños microbiológicos, físicos, químicos o de otra índole, garantizando su correcta conservación a mediano o largo plazo. Sin embargo, actualmente la demanda internacional de productos alimenticios de ciertos lugares del mundo se ha extrapolado a tratados, en los cuales se transporta alimentos por largos periodos de tiempo y en diversos medios de transporte como embarques, trenes, vía aérea, etc., lo que limita a las características del envasado tradicional, pues este se someterá a ambientes externos desconocidos y será manipulado por muchos más actores intermediarios de la cadena alimentaria, provocando posibles pérdidas o deterioros en el contenido. Junto con esto, la exigencia del consumidor por tener el conocimiento de en qué estado se encuentran los alimentos que compra, ha hecho que el envasado sea una característica importante del producto para el consumidor al momento de su elección (1) (2)(3).

El monitoreo de las condiciones de empaquetado, transporte y almacenaje del producto se da con el fin de que el envase no sólo sea un medio de contención del alimento, sino que sea un objeto activo en todo el proceso de comercialización de este, hasta que llega a manos del individuo, aumentando su vida útil y permitiendo que estos productos puedan distribuirse a largas distancias del punto de fabricación (2). Económicamente hablando, esta nueva tecnología de alimentos permitirá minimizar los procesos y costos de análisis para las empresas, ya que sumando el desperdicio de alimentos también corresponde un ahorro de una gran suma de recursos (4), puesto que

los envases biotecnológicos trabajan en la reducción de aproximadamente el 26% de las emisiones de gases de efecto invernadero, y el uso de agua ya que se estima que la industria alimentaria principalmente los envases utilizan un alrededor del 70% de agua dulce. (5)

El término de envases activos se enfoca en la adición de sustancias antimicrobianas, antioxidantes, entre otras, como coadyuvante de los envases inteligentes que junto con biosensores permiten la detección de variables químicas que serían capaces de mostrar el grado de degradación de un producto, por medio de diferentes factores de análisis entre estos el pH (6). Dentro de este grupo encontramos también a las biopelículas, que de forma general se definen como una capa delgada que recubre diferentes superficies de productos, que de manera natural se pueden formar en los alimentos, ya que la mayor parte de las células se adaptan adhiriéndose a superficies sólidas en las que puedan encontrar sustratos, formando así comunidades en forma de una matriz biológicamente activa, que a su vez son protegidas por sustancias poliméricas extracelulares que pueden contener polisacáridos, proteínas, fosfolípidos, entre otros. El objetivo de éstas es salvaguardar a los microorganismos benéficos que forman parte de la biopelícula natural de agentes antimicrobianos, secuestrantes metálicos, toxinas, evitando la deshidratación, reforzando su resistencia al estrés ambiental y ayudando a que las bacterias capten nutrientes, su crecimiento generalmente supone un problema, puesto que provoca corrosión y olores desagradables, resultando en elevados costos de mantenimiento. Sin embargo, durante los últimos años se les ha encontrado de gran utilidad a estas biopelículas en la industria alimentaria, gracias a sus propiedades físicas y químicas y sus beneficios al asociarlas con los alimentos, ya que se ha evidenciado un aumento en su vida útil y hasta una mejora en sus

características organolépticas (7).

Como cualquier otro avance tecnológico los envases activos surgen como respuesta a diferentes problemáticas sociales, medioambientales y económicas a las cuales se enfrenta el mundo, y, por ende, los usos que se les puede dar a estos son diversos y van desde ser más amigables con el ambiente hasta controlar las características fisicoquímicas del producto. Cada vez las necesidades de las personas son más por lo cual la industria alimentaria no parará de seguir innovando con productos que permitan dar respuesta a todas estas necesidades llevándonos así más hacia el futuro en el cual los empaques sean los actores principales para lograr a un producto fresco, inocuo y saludable (8).

METODOLOGÍA

La investigación fue realizada mediante una revisión sistemática sobre Envases Activos y Biopelículas, con el objetivo de proporcionar información amplia sobre este tema y relacionarlo con la manutención de características nutricionales y organolépticas en los alimentos. Se seleccionó la información mayoritariamente de 5 años atrás y 7 documentos de hasta 12 años de anterioridad en base a la importancia de su contenido, que estuvieran a libre disposición en bases de datos de ciencias de la salud. La búsqueda científica se realizó con artículos en español e inglés en Google Scholar, Ebook Central y Scielo, se analizaron 38 artículos de los cuales se seleccionaron: artículos de investigación experimentales, tesis, artículos de revista y artículos de blog de interés, artículos de páginas web de empresas relacionadas al desarrollo de envases activos y libros. Se discriminaron bajo las siguientes palabras clave: “envases activos”, “envases inteligentes”, “envases comestibles”, “diseño de envases y nutrición”, “diseño de envases alimentarios multifuncionales”, “valor nutricional de los envases”, “envases sostenibles”, “biopelículas”, “polímeros” y

“conservación de alimentos”. Finalmente, se valoró tanto el título como el resumen para luego realizar una lectura crítica de los documentos seleccionados, utilizando los que acataron los juicios de calidad correspondientes para la realización del trabajo.

RESULTADOS

Envase activo

Un envase activo se define como aquel sistema que modifica las condiciones de los alimentos envasados tanto para extender la vida de anaquel, mejorar las propiedades organolépticas como para mantener la calidad nutricional y microbiológica, ofreciendo así un producto inocuo y seguro para el consumidor (9) (10).

A su vez estos envases activos pueden clasificarse en categorías según la tecnología que aplica para lograr sus objetivos, así tenemos a los envases activos por sistemas absorción, de emisión y otros sistemas. Para la industria alimentaria tanto los sistemas de absorción como de emisión son de gran utilidad para mantener la inocuidad del alimento, pero ya en el ámbito nutricional los sistemas de emisión, en los cuales se puede añadir sustancias como antimicrobianos, antioxidantes, enzimas y nutraceuticos son los que mayor interés de investigación generan, debido a su potencial aplicación en el aumento de la calidad nutricional (10).

De esta manera se pueden encontrar muchos tipos de envases activos, uno de los más novedosos es el envasado de alimentos antimicrobiano, en éste se incorporan agentes antimicrobianos con el objetivo de reducir, inhibir o retardar el crecimiento de microorganismos que por lo general suelen estar presentes en el alimento envasado. Se afirma que un envase que permita una liberación retardada de un agente antimicrobiano en los productos alimenticios tendría la capacidad de aumentar significativamente la vida útil de estos, además de conservar su calidad y con

ello sus propiedades sensitivas. Se ha dado a conocer que el uso de aceites esenciales de alimentos como la canela, orégano, clavo, eucalipto, limón, naranja, etc., han dado como resultado propiedades antimicrobianas contra los microorganismos, resaltando el contenido del clavo, pues este tiene como componente principal al eugenol, el cual cuenta con características antioxidantes y antimicrobianas, y ha demostrado tener potencial para su utilización como aditivo activo en la aplicación de envases, teniendo la capacidad afectar el crecimiento de bacterias mesofílicas aerobias y pseudomonas fluorescens, reconocidas como las principales bacterias responsables de la alteración de sabores en los alimentos envasados (11).

Entre los materiales más utilizados en los envases activos tenemos el almidón, alginato, derivados de celulosa, quitosano, agar, ceras, glicerol y ácidos grasos (10). Es importante señalar la relevancia del glicerol y el almidón, el primero de estos ampliamente conocido como el plastificante más popular para la manufactura de envases activos biodegradables por su alta biodisponibilidad y su costo económico reducido(12). Así mismo, el almidón es el componente más empleado en la elaboración de estos envases, puesto que es un polisacárido de bajo costo, abundante, fácil de encontrar y sencillo de manejar (13).

Otro de los elementos más usados en este proceso de elaboración es la pectina, la cual se considera un biopolímero sin toxicidad, biocompatible y biodegradable, que se encuentra en frutas y es soluble durante el proceso de maduración de estas, siendo su característica más destacable su gran capacidad de flexión, lo que otorga un extenso rango de deformación a las biopelículas, alcanzando niveles similares a los que otorgaría un polímero sintético (12) (13).

Biopelículas

En la industria alimentaria una biopelícula

se define como una delgada capa comestible que se forma por separado del alimento y se aplica sobre él, evitando la pérdida o ganancia de humedad, así como participando en el control del intercambio de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua, que pueden generar modificaciones en la textura o turgencia, retrasando cambios organolépticos y nutricionales en alimentos. La mayoría de las biopelículas utilizadas son semipermeables por ser de origen natural constituyéndose como óptimas para su uso, estas están formadas por tres componentes un polímero, un disolvente y un plastificante, en este último, se utiliza principalmente glicerol, también llamado glicerina, se trata de un compuesto químico líquido viscoso, que no cuenta con olor ni color aparente, soluble en agua y que es utilizado principalmente en la industria farmacéutica, este es conocido como el plastificante más utilizado y popular para la manufactura de biopelículas, ya que presenta una relación compatible con una gran cantidad de otros materiales, aporta una gran capacidad elástica a los recubrimientos, sin reducir su resistencia a la tensión, sin embargo presenta dos problemas importantes: este no reduce la permeabilidad al vapor de agua y es higroscópico, es decir, atrae el vapor de agua a su ambiente, por lo que afecta directamente al rango de aplicación de las biopelículas. Es así que la utilización conjunta de diferentes materiales como polisacáridos y proteínas pueden ayudar a mejorar esta consistencia del empaque y así proporcionar las características deseadas para cada alimento (12)(14).

De forma general las biopelículas pueden elaborarse por distintos mecanismos (8):

- Eliminación del disolvente: se forma y se estabiliza una estructura molecular física o químicamente y con una disolución se forma un hidrocoloide, para posteriormente incorporar el plastificante con los solutos, obteniendo una biopelícula.

- Gelación térmica: permite la creación de un gel estable, generalmente, a base de proteínas, aquí se desnaturaliza y desestabiliza este componente.
- Solidificación: cuando las macromoléculas utilizadas se homogenizan con un plastificante.
- Electro spraying: atomización del líquido formador de la biopelícula por fuerzas eléctricas.
- Microfluidización: las dispersiones pasan por microcanales obteniéndose nanopartículas que con la aplicación de casting forma partículas para su uso en biopelículas.

Biopelículas a base de Polisacáridos

Entre los materiales usados en la elaboración de los envases activos comestibles tenemos a los polisacáridos, los cuales al poseer una amplia gama de aplicaciones; los biopolímeros en los que se consideran como los mejores en su uso para la manutención de la calidad tanto nutricional como organoléptica de los productos alimentarios, siendo beneficiosa su aplicación sobre productos cárnicos al protegerlos de la oxidación de lípidos, mientras que en los productos de origen vegetal estos actúan principalmente como barrera de humedad y de intercambio de gases (8)(15).

Almidones. El almidón contiene gránulos de amilosa y amilopectina, la primera posee excelentes propiedades para formar biopolímeros resistentes, isotrópicos, inodoros, insípidos y sin color; los biopolímeros que son creados a partir de este polisacárido tienen alta resistencia mecánica, en especial las que tienen como base una mayor concentración de amilosa, que además proporcionan buenas propiedades mecánicas y de barrera tanto para O² como CO² (8)(9). Este material por su bajo costo, alta disponibilidad, y funcionalidad es considerado una muy buena opción para desarrollar “almidones termoplásticos” a los cuales se les puede

añadir alguna otra sustancia activa que proporcionaría una total seguridad como empaque, en diferentes estudios se ha podido evidenciar el funcionamiento de estas biopelículas en relación a los almidones de diferentes alimentos, usados tanto como parte termoplástica o como sustancias microbianas.

El uso del almidón de maíz y oligómeros de quitosano como agente activo muestran una compatibilidad química que permite un suministro gradual del antimicrobiano al producto alimentario; y, por ende, un incremento notorio en protección contra hongos y levaduras aumentando así la vida útil del alimento. A pesar de esta compatibilidad química entre almidón y agente activo, es de suma importancia tomar en cuenta el pH ya que la difusión de los oligómeros va a depender de este, teniendo que a valores bajos de pH esta es más favorable (16). En la búsqueda de mejorar la calidad y aprovechamiento de las biopelículas a base de almidón, los residuos de papas son otro producto de interés, ya que se les pueden añadir partículas fotoquímicas, que protegerán al alimento de daños en la oxidación, mejorando la calidad nutricional y organoléptica, puesto que este tipo de biopelículas fotoactivas tienen la característica de proteger la estructura química de las proteínas y son capaces de reducir la producción de peróxidos lo que a su vez evita la alteración de ácidos grasos insaturados y colesterol (17). Así también, mediante biopelículas de almidón de arracha utilizadas para recubrir muestras de carne, se ha podido evidenciar la efectividad y potencial de este como empaque, a partir del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto cárnico, mostrando una importante estabilidad en medios ácidos y alcalinos por parte de la película biodegradable(18).

Por otro lado, las biopelículas de almidón de plátano en conjunto a proteínas séricas (α -Lactoalbúmina y β -Lacto globulina),

tienen una buena compatibilidad en cuanto al comportamiento hidrofílico, evitando cambios en la permeabilidad del vapor de agua de la biopelícula, además, la adición de proteínas séricas añade grandes mejoras en cuanto a la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas tanto en la elasticidad, el esfuerzo de ruptura como en el esfuerzo de tensión (19).

Sumado a esto, debido a que las biopelículas crean una barrera de gases que reducen la permeabilidad y el intercambio de gases con el ambiente, su uso en el aumento de la vida de anaquel de alimentos sensibles al deterioro es una opción adecuada para la manutención de las características nutricionales y la frescura del producto, pueden utilizarse biopelículas a base de almidón de maíz con alginato de sodio, glicerol y toronjil, este último material con la finalidad de utilizarlo con fines antimicrobianos por su contenido de eugenol y carifenol y porque aumentan el tiempo de duplicación de las bacterias, sin embargo existen otras sustancias que se pueden adicionar en la elaboración de estas películas con propiedades antimicrobianas como sales de sorbato de potasio, ácidos orgánicos como el ácido cinámico, aceites esenciales como la canela, extractos de plantas como del orégano y enzimas bacteriocinas tales como la niacina y pediocina. En el caso de la aplicación de estas biopelículas en el camarón su vida útil aumento un 33%, pero también si se especifica el uso en frutas se puede utilizar biopelículas a partir de yuca y sorgo con sorbato de potasio como antifúngico, logrando aumentar la vida de anaquel de 17 a 19 días más (8; 20-21). De manera general el uso de películas biodegradables o biopelículas en relación al porcentaje de retención de agua, asumen ser más permeables que las sintéticas, sin embargo factores como tiempo y temperatura han demostrado que en propiedades de barrera las películas sintéticas presentan mejores beneficios, es por esto que el uso de los diferentes materiales, almidones, tanto de

forma individual como mixta va a tomar un diferente comportamiento, es así que la industria alimentaria y en si la materia de investigación en esta, debe probar las posibles mezclas o los beneficios en cada producto alimentario para concretar las de máximo beneficio en cada producto (Ver Tabla 1) (9).

Celulosa. La celulosa es polímero natural, constituido por cadenas de carbohidratos polisacáridos, la estructura de unión se forma a partir de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, que hace de este material, insoluble en agua (9). Este es sin duda un material muy novedoso y muy poco utilizado, especialmente si hablamos de celulosa bacteriana, la cual es más pura que la de los frutos por su nulo contenido de hemicelulosa y pectina, y por su alta capacidad de retención de agua; se lo puede conseguir a un bajo costo principalmente de la fermentación del té negro siendo su producción segura (Ver Tabla 1) (12).

Quitina. Considerada como un derivado de la celulosa, se caracteriza por ser blanca, dura, inelástica y es una de las mayores fuentes de contaminación superficial de áreas cercanas del mar. Se obtiene de los desechos de los crustáceos, el exoesqueleto de insectos y también de la pared celular de hongos, levaduras y mohos, es muy estable a los ácidos y álcalis, cuanto es desacetilizada se puede obtener quitosano, la cual provee de propiedades antimicrobianas y antimicóticas, que a su vez añade también cualidades mecánicas positivas y permeabilidad selectiva de gases, a pesar de esto su permeabilidad alta al vapor de agua, hace que su utilización sea limitada (8) (22).

Si bien existe una serie de materiales que pueden ser usados como parte de biopolímeros en los envases de productos, la dotación de agentes microbiano se liga sustancialmente al beneficio otorgado, el uso de *Eucalyptus camdulensis* micro encapsulado en forma de extractos acuoso, como antimicrobianos, por ejemplo, ha ayudado

en el aumento de la vida útil de alimentos especialmente de cuarta generación o mínimamente procesados, que cabe recalcar, tienen una dificultad de conservación mayor que la de otros productos (23).

Diferentes revisiones apoyan también al uso de celulosa mediante algas ya sea obteniendo biopolímeros como la carragenina o el alginato, que proporcionan una alta capacidad de retención de agua ya que promueve la formación de geles, siendo útiles también como biopelículas comestibles que previenen pérdidas de humedad, ya que permiten el intercambio selectivo de gases, disminuyen la acidez porque ralentiza la frecuencia respiratoria y retrasa la utilización de organismos ácidos, en lo que se refiere a frutas y verduras su uso evita la pérdida de peso del producto y aumenta la vida post cosecha, de forma económica estas ventajas benefician al rendimiento de ingresos para los agricultores (Ver Tabla 1) (24).

Lignina: es un biopolímero componente fundamental de la pared celular vegetal, formada por celulosa, hemicelulosa, pectina, proteínas, cutina, suberina y sales minerales. La lignina por sí sola se considera un mecanismo de defensa ya que se incrementa cuando las plantas son sometidas a estrés de tipo biótico o abiótico, constituyéndose, así como una barrera física inicial contra el ingreso de fitopatógenos, además de incrementar la resistencia a la degradación por enzimas, y limitar la difusión de toxinas secretadas por el patógeno y la de nutrientes del alimento hacia el patógeno (25).

Tanto el uso de materiales para biopelículas como el uso de agentes activos en los alimentos son de gran utilidad en la industria alimentaria, sin embargo el costo de productos y la repercusión medio ambiental ha hecho que se suplan algunos materiales, un ejemplo muy interesante es la nueva obtención de nanopartículas de plata mediante microorganismos eucariotas y procariontes, que permitirá abaratar costos en la producción de nanometales y que

además proporcionara mejores condiciones de salubridad en productos alimenticios (Ver Tabla 1) (26).

Biopelículas a base Proteínas

Los biopolímeros a base de proteínas pueden ser de origen tanto animal como vegetal, y tienen como característica y ventaja principal la barrera que proporciona en cuanto aromas, aceites y oxígeno. En la industria de alimentos las cualidades que ofrecen a las biopelículas se denotan en la proporción de resistencia, dureza y ductilidad, sin embargo, debido a su naturaleza hidrofílica no son una barrera efectiva en contra de la humedad (27). Para la formación de biopelículas con base de proteínas es necesario considerar la temperatura y el pH, pues cualquier modificación no deseada puede desnaturalizarla y modificar sus propiedades, estas son transparentes y flexibles cuando se utiliza una base de agua y presentan buenas cualidades mecánicas (8). Proteínas como la seda, caseína, gluten, entre otros proporcionan cierta cualidad nutricional adicional en las biopelículas ya que en cierta proporción y dependiendo del tipo, aportarán aminoácidos que podrían potenciar la calidad nutricional del producto (27).

Entre los materiales usados como biopolímeros, el uso de proteínas como el de la seda, ha dado mucho de qué hablar, si bien la mayoría de las personas piensa que la fibra de seda solo se utiliza en la industria textil, el subproducto de esta llamada fibroína de seda se puede también llevar a la industria alimentaria como parte de biopolímeros utilizados en los envases activos por su contenido de aminoácidos como la glicina, alanina, serina y tirosina (9). A pesar de no ser muy reconocido, el uso de la cañihua como producto base para la extracción de aislados proteicos para su consecuente aplicación en la elaboración de biopelículas ha generado un impacto importante, esto debido a las características similares que comparte con la quinua, conteniendo proteínas como

albúmina y globulina, así como también una buena cantidad de fibra, superando a la del trigo, y un rango de humedad entre 10 y 12.4%, propiedad de gran importancia ya que conserva al grano durante un periodo largo de tiempo. La obtención de aislado proteico de cañihua es relativamente sencillo y su manejo no representa gran dificultad al momento de usarlo para la preparación del recubrimiento (22). También el uso de proteínas lácteas como el caseinato conjuntamente con glicerol para la formación de biopelículas aporta propiedades de barrera de oxígeno buenas en cuanto a la protección de la oxidación de un alimento, así mismo con la adición de carvacrol como antimicrobiano se puede evitar el desarrollo principalmente de *E. Coli* y *S. Aureus*, sin embargo, por la ya mencionada naturaleza hidrofílica hace que sea un material que debe mantenerse en condiciones de baja humedad (28). Proteínas como la albumina o las de soya son efectivas cuando se trata de reducir la pérdida de humedad en un producto, así mismo las biopelículas que contienen gluten de trigo serán efectivas barreras al

oxígeno y dióxido de carbono, y debido a su alta permeabilidad al vapor de agua y a sus propiedades mecánicas se pueden comparar con películas poliméricas. Es interesante señalar además que, al añadir ácidos grasos se mejora la permeabilidad y las propiedades mecánicas en este tipo de biopelículas (Ver Tabla 1) (14).

Biopelículas a base de Lípidos

Los lípidos también son materiales usados como recubrimientos o como parte de biopolímeros para formar biopelículas, estos se caracterizan por ser una excelente barrera hidrofóbica, actuando principalmente contra el vapor de agua, como parte de su clasificación aquí se pueden utilizar tanto ceras de plantas como monoglicéridos, acetilados y surfactantes, los primeros presentan mayor resistencias a la difusión de agua por su bajo contenido de grupos polares, sin embargo el uso de ácidos grasos insaturados son menos eficientes para controlar la humedad en comparación con ácidos grasos saturados (Ver Tabla 1) (27).

Tabla 1. Resumen con las principales conclusiones sobre biopelículas y envases activos

Clasificación	Tipo	Biomaterial	Alimento	Vida Útil	Propiedades Físicas/ Mecánicas	Permeabilidad	M/O	Observaciones
Biopelícula Agente microbiano	Almidón Quitina	Maíz Exoesqueleto de crustáceos	Frutillas	Incrementó la vida útil	Adecuada flexibilidad y apariencia homogénea, fácil de manipular. Sin textura oleosa ni adherente al tacto	Permitió el intercambio gaseoso del producto con el medio	Redujo un 52% el crecimiento de levaduras y hongos fuerte actividad antimicrobiana	A valores bajos de pH la difusión de los oligómeros al medio líquido se favorece
	Celulosa	Carragenina	-	-	Estructura superficial homogénea y compacta pero porosa	-	Fuerte actividad microbiana frente a la e. Coli	-
Agente microbiano	Celulosa	Eucalipto rojo (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	Rodajas de Carica papaya L.	La vida útil se aumentó de 50 días a 93 días	-	-	La vida útil micro-biológica disminuyó en tiempo, haciendo que las cascarras de papaya duren 118,8 h	-
	Proteína	Fribroina	Frutas	En soluciones acuosas es una prometedora opción para aumentar la vida útil de alimentos de origen vegetal	Aumenta la resistencia de rotura y presenta un 18,71% mayor de degradación	Aumenta la permeabilidad de oxígeno 4 veces	-	Material muy versátil que puede utilizarse para formar películas, geles o esponjas
Biopelícula	Celulosa	Alginato	Cebolla larga	Mejora las condiciones de almacenamiento y disminuye la pérdida de peso post-cosecha	Forma una película homogénea sin cristalización ni burbujas de aire	-	-	En comparación con una bolsa plástica resultados de conservación en un 10%
	Almidón Proteínas Séricas	Plátano Leche	-	-	Mejóro la elasticidad y esfuerzo de ruptura, con la adición de plastificantes aumenta el peso molecular, α -LA incrementa esfuerzo de tensión, elasticidad y dureza	No se afecta la permeabilidad de la película	-	La adición de PS a AP provoca cambios físico químicos, aumentando los valores de solubilidad

Clasificación	Tipo	Biomaterial	Alimento	Vida Útil	Propiedades Físicas/ Mecánicas	Permeabilidad	M/O	Observaciones
Biopelícula Binaria Activa	Almidón Antimicrobiano	Maíz Toronjil	Camarón Blanco	Aumento 33%	-	-	Las bacterias mesófilas aerobias se encuentran en una fase estacionaria por más tiempo	-
	Polisacáridos	Sorgo Yuca	Fresas y Moras	En las fresas aumentó 8 días y las moras 4 días	-	Con el uso de plastificantes la permeabilidad del agua aumentó	Se utilizó el sorbato de potasio como anti fúngico	-
Biopelícula	Proteína Láctea	<i>Leche</i>	-	La degradación de la película fue relativamente rápida, 10 días	La adición de glicerina disminuyó la rigidez, aumentó la flexibilidad	Sin adición del agente microbiano muestran excelentes propiedades de permeabilidad, pero con su adición disminuye las propiedades de barrera de oxígeno	Con el cravacol presenta una actividad antimicrobiana aún después de 21 días tanto para E. Coli como para S aureus	Debe estar sometido a condiciones de baja humedad, representando una opción para el envasado de alimentos con bajo contenido acuoso
	Polisacáridos	Arracacha	Carne	-	Mayor estabilidad en condiciones ácidas y alcalinas	-	No permite contaminación de m/o y ausencia de coliformes fecales	Experimentan un proceso de degradación debido a la cristalización del agua después de 10 días de uso
	Polisacáridos	Cáscara de naranja Té negro Cáscara de naranja	-	-	Relaciones lineales entre la concentración de celulosa bacteriana y el aumento de la resistencia a la tensión y la reducción de la elongación	Relaciones lineales entre la concentración de celulosa bacteriana y la permeabilidad al vapor de agua	-	La celulosa bacteriana se constituye en un agente reforzante efectivo cuya producción es sencilla y segura.

Clasificación	Tipo	Biomaterial	Alimento	Vida Útil	Propiedades Físicas/ Mecánicas	Permeabilidad	M/O	Observaciones
Polisacáridos	Almidón Pectin	Plátano "Pera" Camarón	Frutos de mango "Ataulfo"	Alargó el periodo post cosecha a 21 días	-	-	-	El quitosano no destacó con respecto al recubrimiento de almidón y ningún tratamiento afectó el color de la cutícula de los frutos de mango 'Ataulfo'
	Quitosano							
Proteína	Quitosano	Escamas de langostino Cañihua	Fresas	Se logró conservar las fresas durante 13 días	Son transparentes, firmes y algo flexibles, se forman por el moldeo de solución acuosa y a través de la evaporación del solvente	A mayor proporción de mezcla mayor permeabilidad; las proteínas interactúan con el quitosano reteniendo agua e influyendo positivamente en la permeabilidad al vapor de agua	Efecto bactericida, inhibiendo el crecimiento de las bacterias mesófilas aerobias, mohos y Levaduras	Reducción de la pérdida de humedad debido a que se deben mantener ciertos niveles de actividad de agua
	Aislado Proteico							
Polisacárido Lípido Aditivo	K-Carragenina	<i>Alga Hypnea muciformis</i>	Fresas Silvestres	Se logró conservar las fresas durante 12 días	Buena fuerza de adhesividad, ruptura y relajación	La adición de ácido oleico mejora la impermeabilidad de la biopelícula	Los m/o no se observan en el 100% de los frutos debido a que tuvieron un proceso de desinfección previo al recubrimiento y a la extensión del tiempo de secado del mismo	El uso del recubrimiento que tiene en su composición ácido ascórbico permite mantener la vitamina C del fruto y por lo tanto no pierde su valor nutricional
	Glicerol	-						
	Ácido Oleico	<i>Acete de oliva</i>						
Polisacárido	Ácido Ascórbico	-						
	Almidón	Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)			La solubilidad es mayor con el incremento de pectina y temperatura, la opacidad y el índice de amarillo se incrementan con la temp., mientras que el índice de blancura disminuye, más resistentes en medios apolares y presentan mejor resistencia a la ruptura a mayor temperatura	-	-	La adición de mucilago resulta en incrementos de la flexibilidad a las biopelículas
	Mucilago	Nopal (<i>Opuntia ficus</i>)						
Polisacárido	Glicerina	-						
	Pectina	-						

Elaborado por: Autores

DISCUSIÓN

Comúnmente, los alimentos son protegidos por envases, los cuales se encargan de mantenerlos lejos de sustancias u organismos del entorno que pudieran ejercer un efecto dañino, alterando sus características organolépticas y hasta sus propiedades nutritivas y, por consiguiente, provocando un rechazo por parte de los consumidores. Este sistema de envasado de alimentos se ha llevado durante décadas, por lo que al día de hoy es posible observar todos los estragos al medioambiente y a la salud que ha provocado, esto causado por la gran cantidad de materiales plásticos no biodegradables que se usan para su elaboración. Por esta razón y gracias al avance tecnológico actual, se han desarrollado los denominados envases activos, los cuales no solo cumplen la función de proteger de la humedad, oxígeno y agentes microbianos, sino que sus materiales cumplen con una serie de interacciones con el alimento que le proporciona nuevas características y potencia las ya existentes a través de acciones físicas, químicas y biológicas. Por lo que, las biopelículas se establecen como el tipo de envase activo con más posibilidades de ser llevado al mercado para su uso comercial, puesto que gracias a su bajo costo de producción y a sus diversos materiales de fácil acceso, se vuelven la opción ideal en la que se puede trabajar para alcanzar un recubrimiento que beneficie a todos los actores de la cadena alimentaria. Es así que, en el trabajo realizado por (12) se elaboró una biopelícula a base de cáscara de naranja, la cual fue escogida por su gran asequibilidad y su relativamente fácil manipulación, obteniéndose un recubrimiento moderadamente aprovechable, sin embargo, se observó que sus propiedades mecánicas como elasticidad, resistencia a la tensión y hasta su permeabilidad, mejoraron con la adición de celulosa bacteriana, la misma que se obtiene de la fermentación del té negro, que supone un mínimo de impacto ambiental en su producción y que, gracias

a sus características más puras que la celulosa convencional, se comporta como un reforzante más resistente capaz de mejorar las características de la biopelícula. Ocurrió lo contrario en la investigación efectuada por (13) en la que se creó una biopelícula a base de almidón y pectina a la cual se le añadió quitosano, generando diversos tratamientos en los que se utilizó diferentes cantidades de estos materiales con el fin de obtener un recubrimiento que potencie las características del alimento en el que fue utilizado, prolongando así su vida útil. Es de esta manera que, al evaluar variables como pérdida de peso, firmeza, acidez titulable, sólidos solubles totales y color en los alimentos tratados, se observaron diferencias marcadas en cada tratamiento, sin embargo y a diferencia del anterior estudio mencionado, la incorporación de un material complementario a los ya establecidos, en este caso el quitosano, no destacó al compararse con el uso exclusivo del almidón, concluyendo que en esta investigación la sola aplicación del almidón y pectina son suficientes para conseguir un cambio en las propiedades del alimento empleado.

Aun así, la mayoría de los materiales que son ocupados en la producción de estos envases comestibles activos por si solos proveen de nuevas y variadas propiedades a los productos alimenticios, especialmente, y como ya se ha descrito, aquellos que provienen de los polisacáridos, pues son a los que más accesibilidad se tiene debido a su abundancia en el medio alimentario y los que menos dificultad presentan para su extracción, pero no hay que dejar de lado la utilización de materiales sustraídos de polisacáridos no convencionales en pro de una mejora en la estructura química y física de una biopelícula. Así tenemos que en la investigación de (29) se ocupó k-carragenina, un polisacárido proveniente del alga *Hypnea muciformis* que contiene 47% de fibra dietaria, 11,4% de proteínas y con una fuerte actividad antioxidante lo que otorga

protección a los alimentos y no interactúa adversamente con ellos. En este estudio es importante también señalar el importante papel del ácido ascórbico (vitamina C) como aditivo alimentario en la reducción del deterioro del alimento en el que se suele observar rancidez o decoloración debido a la oxidación, pero que en este caso se retrasa lo que resulta en un aumento de su vida útil, además de favorecer al mantenimiento de la vitamina C en el valor nutricional del alimento en el que se esté aplicando.

No hay que olvidar que, aunque en menor medida que los polisacáridos, las proteínas y lípidos también son ampliamente usados en la creación de estas biopelículas, ya que su composición química permite su diferenciación cuando están unidos a productos alimenticios. De esta manera, en el trabajo hecho por (28) se pudo evidenciar la eficacia que tiene el trabajar con proteína, específicamente la que se encuentra en el suero de la leche, así pues, se diseñaron varias fórmulas en las que se ocupó caseinato de sodio y caseinato de calcio, las cuales al integrarse a otros elementos mostraron diferentes aptitudes y distintos grados de calidad, para que finalmente se escogiera como el mejor tratamiento aquel en el que se encuentra el caseinato sódico, puesto que forma una biopelícula de superficie lisa y homogénea, con una gran capacidad como barrera de oxígeno y alta ductilidad, lo que le concede una flexibilidad aceptable y gracias a sus otros componentes una capacidad antimicrobiana poderosa contra la *E. coli* y *S. aureus*. Por lo tanto, se puede considerar que cada compuesto que es utilizado en la formulación de estos recubrimientos comestibles, son individualmente capaces de reforzar y elevar las características organolépticas y nutricionales de todo alimento en el cual es aplicado, sin embargo, al utilizarlos conjuntamente se potencian muchas más propiedades que impulsan su uso comercial y captan la atención de los consumidores, desplazando cada vez más al

envase de plástico común.

La industria alimentaria se interesa cada vez más por este tipo de tratamientos, pues por lo general, los materiales son relativamente sencillos, fácilmente manipulables y de bajo costo, además de tener un creciente interés de la población por este nuevo sistema, ya que es amigable con el medioambiente y fomenta a una mejor elección de productos que beneficiarán a su salud nutricional, gracias a su capacidad de preservar nutrientes por un tiempo prolongado, evidenciando la efectividad que tiene y el impacto que comprendería en toda la cadena alimentaria. Sin embargo, varios factores como la adquisición de instalaciones con nuevos equipos necesarios para la producción de estas biopelículas, los requisitos reglamentarios para la creación y desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones, entre otras, limitan su utilización y comercialización mundial, aun con todo lo expuesto, es considerado como una de las mejores estrategias para reemplazar al modelo tradicional de envasado en pro de una mejora ambiental, industrial y nutricional.

CONCLUSIONES

Los envases activos y concretamente las biopelículas son un avance tecnológico sumamente versátil, que, en la industria de alimentos permite proporcionar al consumidor productos inocuos y nutricionalmente seguros. Si bien la disponibilidad de materiales usados en la elaboración de estas biopelículas es amplia y la mayoría de estas han sido probadas a diferentes condiciones y alimentos, existen pocos estudios en los cuales se han mezclado compuestos tanto polisacáridos, como proteína y celulosas. Tanto polisacáridos como proteínas poseen una menor permeabilidad, siendo más útiles para reducir tasas de respiración; mientras que los lípidos presentan una mayor reducción de la desecación de los alimentos, lograr esta interacción de materiales podría maximizar los efectos benéficos como envases activos y

hasta como envases inteligentes.

La nutrición trabaja en conjunto con la industria alimentaria con el fin de brindar a la comunidad los mejores alimentos que permitan nutrir y mantener la salud de las personas, sin embargo esta alianza no va desligada de la situación económica y medioambiental que vive el mundo, es por esto que, la investigación de las nuevas innovaciones en torno a productos alimenticios, como lo son los envases activos y las biopelículas, mantiene una responsabilidad que va más allá de servirse un producto de calidad, si no que proporciona beneficios tanto para la industria como para los consumidores.

REFERENCIAS

1. Rodríguez Saucedo R, Rojo-Martínez G, Martínez Ruiz R, Piña-Ruiz HH, Ramírez-Valverde B, Vaquera Huerta H, et al. Envases Inteligentes Para La Conservación De Alimentos Smart Packaging for Food Preservation. *Ra Ximhai*. 2014; 10(10): 151–73.
2. Fresnillo D. Envasado inteligente Tecnología de los alimentos. Tesis de Grado. Universidad de Alicante, España. 2019; 0–33.
3. Fabra P. Envases activos e inteligentes. Centro Tecnológico del Plástico. 2020; 7–9.
4. Muller, P.; Schmid M. Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview. *Foods*. 2019; 8(1): 16
5. EROSKI CONSUMER. Los envases del futuro, mucho más que una tendencia estética o de moda. 2021: 44–9.
6. Valencia J., Murrugarra C., Villa TD C.. Arquitectura de un Dispositivo no Invasivo para el Seguimiento de la Conservación de Alimentos en Empaques Inteligentes. *Rev la Fac Ciencias Básicas*. 2018; 16:103–9.
7. Navia D., Villada H., Mosquera S. Biopelículas en la industria de alimentos. *Fac Ciencias Agropecu*. 2010; 8(2):118–28.
8. Solano LG., Beltrán L., Alamilla JC. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Rev Espec en ciencias químico-biológicas*. 2018; 21(2): 30-42
9. Ríos A. D., Álvares C., Cruz L. Revisión: fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos. *Prospectiva*. 2017; 15(1): 7-15.
10. Y. Martínez-Tenorio AL-MV. Envases activos agentes antimicrobianos y su aplicación en los alimento. *Temas Sel Ing Aliment*. 2011; 5: 1–12.
11. Higuera-Barraza OA., Soto-Valdez H, Peralta E. Fabrication of an antimicrobial active packaging and its effect on the growth of pseudomonas and aerobic mesophilic bacteria in chicken. *Vitae*. 2015; 22(2):111–20.
12. Mayhuire EA., Cuadros Huamaní Y., Zanardi LM., Medina De Miranda E. Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Rev Soc Quím Perú*. 2019; 85(2):231–41.
13. Bello-Lara JE., Balois-Morales R., Juárez-López P., Alía-Tejacal I., Peña-Valdivia CB., Jiménez-Zurita JO., et al. Recubrimientos a base de almidón y pectina de plátano “Pera” (Musa ABB), y quitosano aplicados a frutos de mango “Ataulfo” en postcosecha. *Rev Chapingo, Ser Hortíc*. 2016; 22(3):95–104.
14. Chocano N. Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*). Trabajo de Grado. Universidad Nacional José María Arguedas, Perú. 2019
15. Zamudio G. Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimentaria. Trabajo de Grado. Universidad del Valle; 2014. 22–7p.
16. Valeria López O., Castillo L., Farenzena S., Pintos E., Rodríguez M.S., M García MAV. Película biodegradable de almidón de maíz termoplástico y quitosano con

- actividad antimicrobiana empleada como envase activo. *Revista Matéria*. 2018; 23(2).
17. Niño L., García A., Medina O. Biopelículas fotoactivas: material de empaque en alimentos sensibles a la oxidación. *Rev UDCA Actual Divulg Científica*. 2018; 21(2): 457-466.
 18. Medina V. Pardo C., Ortiz CA. Modified arracacha starch films characterization and its potential utilization as food packaging. *Vitae*. 2012; 19(2):186–96.
 19. Palma-Rodríguez H., Salgado-Delgado R., Páramo-Calderón D., Vargas-Torres A., Meza-Nieto M. Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Univ*. 2017; 27(1):26–33.
 20. Cuello R. Bravo JC., Pérez YC. Obtención de biopelículas binarias activas y su efecto en la vida útil microbiológica del camarón blanco (*Penaeus vannamei*). *Inf Tecnol*. 2015; 26(5):3–10.
 21. Arévalo Alvarenga V., Azucena Peña G., Laínez Amaya S. Formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de sorgo (*sorghum bicolor* (L.) Moench) y yuca (*manihot esculenta*). Trabajo de Grado. Universidad de El Salvador. 2018
 22. Yapana L. Elaboración de biopelículas para envasado de alimentos a partir de Quitosano y Cañihua [Tesis]. [Puno]: Universidad Nacional del Altiplano; 2019. 120 p.
 23. Rafael E., González YA. Obtención de Biopelículas conteniendo Extracto Acuoso de *Eucalyptus camaldulensis* y su Incidencia en la Vida Útil Microbiológica de Rodajas de *Carica papaya* L. *Inf tecnológica*. 2016; 27(2): 61-66.
 24. ROzo g., gómez cr. Efecto de una biopelícula de alginato en la conservación de cebolla larga (*Allium fistulosum* L.). *Vitae*. 2016; 23(1): 419-423.
 25. Lagunes-Fortiz E, Zavaleta-Mejía E. Función de la lignina en la interacción planta-nematodos endoparásitos sedentarios. *Rev Mex Fitopatología*. 2016; 34(1): 43-63.
 26. Osorio-Echavarría J., Gómez-Vanegas N., Ossa-Orozco CP. Obtención de biopelículas de carragenina suplementadas con nanopartículas de plata sintetizadas biológicamente. *DYNA*. 2017; 84(201):82-87.
 27. Aguilar-Duran J., García León I. Alargamiento de la vida de anaquel de las frutas por el uso de biopelículas. *Rev Boliv Química*. 2020; 37(1): 40-45.
 28. Arrieta MP., Peltzer MA., Garrigos M., Jimenez A. Desarrollo de un sistema de envasado activo: Biopelículas de proteínas lácteas para un desarrollo sostenible. *Fund Mapfre*. 2009;15.
 29. Rincón Gutiérrez V. Diseño de una biopelícula para la conservación de fresa silvestre (*fragaria vesca*), : una estrategia encaminada a la sustitución de empaques plásticos [Tesis]. [Bogotá]: Universidad Jorge Tadeo Lozano. 2014. 132 p.