

DESARROLLO E IMPORTANCIA DE LAS PELÍCULAS BIOPOLIMÉRICAS EN EL PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS

BIOPOLÍMEROS FUNCIONALES EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

**^{1a*}Víctor Adán Cepeda-Tovar; ¹Daniela Marisol Carmona-Govea;
^{1a,b}Juan Roberto Benavente-Valdés; ^{1a}Lorena Farías-Cepeda; ^{1a,c}Leopoldo Javier Ríos-González; ^{1a*}Anilú Rubio-Ríos**

¹Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas, Blvd. V. Carranza S/N, 25280, Saltillo, Coahuila, México.

^aDepartamento de Ingeniería y Simulación de Procesos Químicos

^bDepartamento de Ingeniería Química

^cDepartamento de Biotecnología Ambiental

Autor de Correspondencia: ^{*a} v_cepeda_tovar@uadec.edu.mx

Recibido: Junio 2022; Aceptado: Julio 2022

RESUMEN

Actualmente, el avance en los productos que buscan satisfacer necesidades que la sociedad demanda día tras día para la formulación y puesta en marcha es vital que cumplan con ciertos requisitos en específico, haciendo hincapié en las económicas, sociales y ambientales, es en este punto donde el campo de la ciencia y la tecnología han implementado nuevas ideas sobre el desarrollo de productos biopoliméricos para la conservación y preservación de productos de fuente alimenticia. Con el fin de implementarlos en forma de películas y recubrimientos de superficie comestibles, se ha logrado un notable crecimiento en las últimas décadas, en espera que estos lleguen a obtener un impacto importante en la calidad de los productos alimenticios con el paso del tiempo. Este crecimiento es atribuible al conocimiento de las películas comestibles y la tecnología que se ha desarrollado para la formulación de un recubrimiento comestible, así como avances en las áreas de ciencia de materiales, ingeniería de alimentos y por supuesto, la tecnología de procesamiento. Es en este sentido, donde se han utilizado una gran cantidad de polímeros de base biológica o fuente natural en la producción de películas y recubrimientos comestibles. Estas nuevas fuentes de materiales comestibles, así como las técnicas de procesamiento, son un tema de gran interés debido potencial tan prometedor como sistemas innovadores en el envasado y disposición de alimentos. El presente manuscrito muestra el concepto general, así como el potencial para la aplicación sobre los nuevos materiales formadores de películas provenientes de residuos vegetales, así como su eficacia e idoneidad en diversos tipos de productos alimenticios de consumo humano y animal.

Palabras Clave: Alimentos, consumo, fuente vegetal, disposición, procesamiento.

ABSTRACT

Currently, the development of products that seek to satisfy the needs that society demands day after day for the formulation and implementation is of vital that they meet certain specific requirements, emphasizing the economic, social and environmental ones, it is in this point where the field of science and technology have implemented new ideas on the

development of biopolymeric products for the conservation and preservation of food source products. In order to implement them in the form of edible films and surface coatings, a remarkable growth has been achieved in recent decades, with the expectation that these will have a significant impact on the quality of food products over time. This growth is attributable to the knowledge of edible films and the technology that has been developed for the formulation of an edible coating, as well as advances in the areas of materials science, food engineering and, of course, processing technology. It is in this sense, where a large number of biobased or natural source polymers have been used in the production of edible films and coatings. These new sources of edible materials, as well as processing techniques, are a topic of great interest due to their promising potential as innovative systems in food packaging and disposal. This manuscript shows the general concept, as well as the potential for application on new film-forming materials from plant residues, as well as their effectiveness and suitability in various types of food products for human and animal consumption.

Keywords: Food, consumption, plant source, disposal, processing.

1. INTRODUCCIÓN

Una película para alimentos, capa o "film", es considerada una superficie delgada de material considerablemente comestible, formada como una capa protectora sobre alimentos, mismas que pueden consumirse junto con esos productos. Estas capas se aplican en forma líquida o sólida sobre la superficie del alimento, generalmente sumergiendo el producto en una solución formadora de película. Las películas comestibles son estructuras independientes en la naturaleza, mientras que los recubrimientos comestibles se adhieren a los alimentos sobre la superficie [1].

En este sentido, se han investigado varios polímeros de base biológica para producir una estructura en forma de películas o recubrimientos.

Un ejemplo claro de esto, son los hidrocoloides, tanto polisacáridos, como proteínas, son los más comunes, debido a que pertenecen al grupo de biopolímeros utilizados en la producción de materiales comestibles. Se pueden obtener de fuentes como plantas, animales o de una gran variedad de microorganismos, derivados de celulosa, almidones, alginatos, pectinas, quitosanos, siendo los polisacáridos más populares utilizados en la producción de películas comestibles y recubrimiento, mientras que en el caso de las proteínas las más populares y reportadas en la literatura enlistadas son de soya, gluten de trigo, zeína de maíz, proteínas de girasol, gelatina, suero, caseína y queratina [2]. Sin embargo, esos materiales son hidrófilos en naturaleza. Por lo tanto, diferentes tipos de aceites y grasas se incorporan a la matriz hidrocoloide con el fin de mejorar sus propiedades de barrera contra el vapor de agua. Los más populares en este aspecto, son las ceras, los triglicéridos, los monoglicéridos acetilados, los ácidos grasos libres y aceites vegetales (provenientes de semillas o leguminosas) [3].

Durante mucho tiempo, los biopolímeros se aplicaron principalmente como una película estructurada de un componente o una sola formulación de recubrimiento, esta tendencia aún se puede observar en diversos materiales, dependiendo de la aplicación final. Sin embargo, en los últimos años se han llevado a cabo numerosas investigaciones en materiales comestibles de dos componentes o multicomponentes, proporcionando propiedades funcionales en gran medida mejores a las convencionales. En este contexto, las películas o recubrimientos se preparan a partir de la combinación de dos o más sustancias para obtener estructuras con propiedades físicas, mecánicas y de barrera modificadas, propiedades que son mejores que el material estructurado por un solo componente. Debido a esto, en la formulación de formación de película se emplean sustancias como plastificantes, agentes de reticulación, emulsionantes y refuerzos de fuente inorgánica u orgánica, con el mismo fin, propiciar una mejora o modificar la funcionalidad básica del material.

Además, diferentes compuestos activos, por ejemplo, los antimicrobianos, antioxidantes, colorantes, sabores y nutracéuticos se incorporan a la solución formadora de película para mejorar la calidad, estabilidad y seguridad en el envasado de los alimentos.

Además, de acuerdo a lo citado en la literatura, esos ingredientes pueden proporcionar propiedades antibacterianas, antifúngicas o propiedades antioxidantes del material comestible [4,5]. El procesamiento de los materiales comestibles, es un punto importante que también se aborda en este trabajo; se pueden producir por métodos húmedos o secos, dependiendo de la aplicabilidad que se deseé. Para el procesamiento en fase húmeda, tanto las películas como los revestimientos se pueden obtener por evaporación del disolvente o comúnmente conocido como solvent casting o casting. La principal diferencia es el hecho de que las películas son producidas por un método de fundición donde la solución formadora de película se seca sobre una superficie sólida. El método es la técnica más popular a escala de laboratorio, aunque también se han desarrollados algunos de ellos en escalas industriales.

El secado se puede realizar por conducción de calor o por convención y/o por calentamiento de infrarrojos, asistido por ondas térmicas; así mismo, también se crean recubrimientos comestibles secando la solución formadora de película sobre los productos alimenticios. El método de recubrimiento puede implicar sumergir, rociar, esparcir o cepillar [6,7]. Sin embargo, el procesamiento en seco, exemplificando el termoprensado/termoformado o extrusión, es empleado única y exclusivamente en la producción de películas comestibles, especialmente para envases comestibles. Esos métodos convencionales pueden modificarse para controlar diferentes propiedades funcionales de los materiales comestibles que depende en varios factores [7].

No obstante, se investigan nuevos métodos y técnicas como respuesta a preferencias de los consumidores por alimentos más saludables con calidad y envases más ecológicos. Las películas comestibles y biodegradables son una tecnología emergente muy rápida que ofrece una alternativa

muy significativa a los plásticos sintéticos convencionales, que provocan una grave contaminación del medio ambiente. Las principales ventajas asociadas con los compuestos ecológicos son su gran capacidad de ser renovables y biodegradables.

Recientemente, el desarrollo de recubrimientos comestibles ha atraído cada vez más y más la atención de investigadores y consumidores, principalmente debido a la gran variedad de aplicaciones que ofrece estos biocompuestos. Existe un gran esfuerzo centrado en desarrollar e investigar los nuevos materiales en los que se utilizan nuevos componentes como materiales de construcción para la mejora y adaptabilidad de estas películas.

Además, en el procesamiento de estos sistemas se busca optimizar la composición, las propiedades funcionales y los costos de las películas comestibles y sus correspondientes revestimientos. Una importante tendencia de investigación proviene de la selección de las fuentes novedosas como posibles películas comestibles. Esos componentes bioactivos pueden estar entre los compuestos alimentarios disponibles que existen, algunos de ellos no han sido probados como componentes de envases comestibles o subproductos industriales o como desechos que encuentran una aplicación sostenible.

Las nuevas películas y recubrimientos comestibles, especialmente multicomponentes, así como los incorporados con diferentes compuestos activos fueron revisados por López y colaboradores en el 2010, desarrollado para el proceso de extracción y recuperación de lípidos (específicamente monoglicéridos) capaces de formular y estabilizar películas permeables comestibles [8].

Sin embargo, últimamente se ha desarrollado una gran cantidad de nuevos materiales comestibles; por lo tanto, en este trabajo se plasman las investigaciones más recientes realizadas sobre el tema. Los principales objetivos de este trabajo son para discutir varios materiales y técnicas de formación de película nuevos e innovadores desarrollados para mostrar su eficacia protectora e idoneidad en diversos tipos de alimentos.

1.1.Biopolímeros empleados en la formulación de películas comestibles o embalaje

Son diversas las aplicaciones finales de estos biomateriales. Por ejemplo, se ha demostrado que las harinas provenientes de leguminosas son un buen material debido a su alto contenido de almidón y proteína. Además, algunas harinas de legumbres contienen una cantidad importante de lípidos. Por lo general, son económicos y proporcionan una buena fuente de proteínas, vitaminas y minerales nutricionales. Además, las películas de harinas de guisantes [9], lentejas [10], garbanzos [11] y frijol mungo [12], han sido tanto producidas como evaluadas, obteniendo resultados exitosos.

De acuerdo a lo reportado por Montalvo-Paolini y colaboradores en el 2018 [13], las películas comestibles investigadas a base de concentrados de proteína de frijol como fuente de proteína a partir

de diferentes frijoles populares de la región mexicana, entre ellos la alubia, flor de mayo, garbancillo, peruano, pinto, mantequilla y negro. Por otro lado, Ochoa-Yepes y colaboradores en el mismo año [14], desarrollaron películas de almidón de mandioca con la adición de harina de lentejas rica en fibra obtenida del residuo.

Los compuestos se caracterizaron por ser más resistentes al agua y al daño mecánico. Todas las películas fueron fácilmente biodegradadas en forma de compost vegetal y térmicamente estables hasta alcanzar una temperatura de 240 °C, respectivamente.

Otros estudios previos, en este caso para frutas y verduras han sido ampliamente utilizados como componentes de películas y recubrimientos. Sin embargo, todavía son considerados como objeto de investigación. De acuerdo a lo encontrado en la literatura, Pelissari y colaboradores en el 2013 [15], investigó las propiedades físicas de películas comestibles de harina y almidón basadas en cascara de plátanos, considerando que la industria alimentaria produce cada año un gran volumen de estos residuos sólidos. Además, estos residuos son una rica fuente de nutrientes y compuestos bioactivos, así como fuente principal de biopolímeros como polisacáridos o fibras dietéticas.

Además, demostró que algunas fracciones tanto de piel, orujo y pepitas de algunas frutas poseen mayor actividad antioxidante que las fracciones obtenidas de la misma pulpa. Dado que los residuos vegetales son una excelente fuente de nutrientes y fácilmente disponibles, ya se han utilizado como componentes en el desarrollo de productos alimenticios funcionales [16]. Los biopolímeros a base de subproductos de la industria alimentaria son conocidos por su capacidad de formación de películas, que ha sido objeto de estudios recientes. Entre ellos, residuos de frutas y verduras, generalmente procesados en harina, demostraron un potencial prometedor para sus aplicaciones como componentes formadores de película.

Además, el costo energético del procesamiento de residuos no es alto, similar al procesamiento de frutas o verduras, ya que no se aplican nuevas tecnologías, por lo que, las variaciones de procesamiento se basan en las técnicas ya previamente establecidas [17].

En las últimas décadas, la disposición de las frutas y verduras como componentes de películas y recubrimientos consumibles ha sido objeto de muchos artículos de investigación [18-21]. Sin embargo, el uso de residuos del procesamiento de frutas u hortalizas en la preparación de películas y recubrimientos comestibles ha cobrado gran importancia recientemente. En este contexto, Andrade y colaboradores en el 2016 [22], estudiaron nuevas películas comestibles a base de harina compuestas por diferentes residuos provenientes de frutas dulces y vegetales verdes, entre ellos las de naranja, maracuyá, sandía, lechuga, calabacín, zanahoria, espinaca, menta, malanga y pepino.

Los autores obtuvieron películas homogéneas y flexibles sin la adición de plastificantes mostrando características prometedoras. Además, la incorporación de harina de los residuos de piel de patata resultó en una mayor resistencia mecánica en comparación del resto. En este mismo sentido, Arquelau

y colaboradores en el 2019 [23], formularon películas desarrolladas y caracterizadas a base de harina hecho de cáscaras de plátano maduro y almidón de maíz, considerado como otro buen ejemplo es el uso de subproductos de frutas cítricas. Además, se investigó un albedo de pomelo como material formador de película, mismo que presentó buenas propiedades funcionales a partir de sus películas fabricadas [24]. Se efectuaron observaciones muy similares para películas obtenidas de harina de cáscara de pomelo, de acuerdo a lo reportado por Wu y colaboradores en el 2019 [25].

Relacionado con la disponibilidad que tienen las fuentes naturales para la obtención de películas a partir de estos residuos, es de vital importancia considerar que las raíces y esencias de ciertas plantas silvestres prevén de materia orgánica con alta disponibilidad para el empleo de estos biocompuestos. Un ejemplo de esto son los extractos que proviene del almidón de ciertos tubérculos y raíces como la yuca y la papa, las cuales han mostrado resultados prometedores como películas y recubrimientos de fuente comestible. Sin embargo, los estudios han centrado esfuerzos en investigar harinas o almidones de plantas menos populares, con el fin de aplicarlos como película o recubrimiento en alimentos. En este contexto, nuevos materiales formadores de película fueron evaluados utilizando la harina de achira [26] o de almidones de canna [27], ñame [28], ulluco [29] o castaña de agua [30].

Para la extracción de estos compuestos, Gutiérrez y colaboradores en el 2018 [31], obtuvieron almidón a partir del tubérculo de arruruz de guinea, mostrando una buena formación de capacidad de película. Además, los autores también investigaron películas compuestas incorporadas con los residuos del vino, films compuestos por harina y extracto de residuos de uva. Estos rellenos naturales causaron reacciones de entrecruzamiento que resultaron en un mayor contenido de almidón resistente y una disminución en la naturaleza hidrofílica de las películas. De acuerdo con los estudios previos, la mayoría de las películas obtenidas a partir de harinas poseen una estructura considerablemente heterogénea con buena resistencia mecánica, pero bastante pobre al vapor de agua en comparación con los desarrollados de polisacáridos o proteínas populares.

Por lo tanto, sus aplicaciones prácticas pueden depender de las propiedades del producto y la función lograda o esperada. Para algunos usos, una combinación de harinas con otras pueden ser materiales necesarios para fungir como formadores de película.

Aunado a esto, en las últimas décadas se han descubierto un gran número de exudados de gomas naturales de origen vegetal. tales como goma arábiga, goma karaya, goma ghatti, mezquite. En el caso de la goma arábiga (o acacia chicle) es una de las más conocidas entre todas las gomas naturales y la más antigua, ya que su uso se remonta a hace 5000 años. En cuanto a los capacidades emulsionantes, estabilizantes, espesantes y aglutinantes, la goma arábiga ha demostrado una amplia utilidad en la industria alimentaria, así como en la industria textil, recubrimientos de superficie y pinturas [32]. Además, posee un potencial como recubrimiento comestible protector para prolongar

la vida útil de los productos alimenticios, por ejemplo, nueces para eliminar su apariencia húmeda y aceitosa [33,34].

Alí y colaboradores en el 2010 [35], observaron que los tomates recubiertos con goma arábiga mostraron un retraso significativo en los cambios de color, pérdida de peso, firmeza, soluble concentración sólida, acidez titulable, contenido de ácido ascórbico y porcentaje de descomposición. Estos resultados fueron similares a los obtenido para manzana [36] y fresas [37], ambas frutas recubiertas bajo las mismas proporciones.

La goma de almendras, también conocida como goma persa, es un nuevo exudado de goma recogida del tronco y ramas de árbol de almendro. Estas son producidas por los árboles, a través del proceso conocido como gomosis, en respuesta a diversos factores que sufre la corteza o ramas, como estrés, lesiones físicas, ataques de insectos, etc. Se sabe que las gomas exhiben interesantes propiedades físicas, químicas y biológicas que las hacen sustratos adecuados para su empleo como diversos aditivos alimentarios.

Bashir y colaboradores en el 2016 [38], llevaron a cabo un estudio comparativo entre la goma arábiga y la goma de almendras, concluyendo que la goma de almendras exhibía mejores propiedades físicas, como densidad aparente, capacidad de retención de aceite, fluidez y contenido mineral que la goma arábiga. Así mismo, Robles-Flores y colaboradores en el 2018 [39], desarrollaron recubrimientos comestibles a partir de aislado de proteína y goma de almendro obtenidos a partir de semillas de *Cajanus cajan*, mismos que se aplicaron con éxito en la mejora de la calidad de fresas.

Los biocompuestos extraídos de la semilla del árbol de pinhão reportaron buenas fuentes de carbohidratos complejos mostrando excelentes propiedades de formación de película, de acuerdo a lo reportado por Daudt y colaboradores en el 2016 [40].

Principalmente, las frutas y verduras están sujetas a pérdidas debido a los altos contenidos de humedad, desperdicio por podredumbre o simplemente por la aparición de agentes microbianos.

Por lo tanto, los recubrimientos comestibles parecen una solución prometedora para conservación de frutas y verduras perecederas. Hasta el momento, los polisacáridos conocidos utilizados en este tipo de recubrimiento son generalmente almidones y derivados de celulosa. Otros estudios se centraron en algunas plantas silvestres que contienen polisacáridos complejos como fuente de nuevos materiales de recubrimiento comestibles. Uno de estos es el cactus *Opuntia*, el cual ha sido de estudio científico y tecnológico ya debido a su capacidad de formar una cubierta comestible [41]. Se han aplicado polisacáridos extraídos del nopal *Opuntia* a frutos cítricos como recubrimiento comestible, siendo almacenado hasta 35 días bajo condiciones especiales de temperatura, humedad, etc [40,41].

Los resultados han mostrado buenos resultados sobre el recubrimiento comestible a base de cactus, promoviendo el aumento de vida de anaquel de la mandarina en cuanto a sus características químicas

y físicas tales como pH, acidez, aroma, color, textura y aspecto general. Un ejemplo de esto es lo reportado por Oliveira y colaboradores en el 2019 [42] desarrollaron y caracterizaron las propiedades de películas comestibles a base de hidrocoloides extraído de hojas de mucílago de *Pereskia aculeata Miller*, donde estas películas presentaron una flexibilidad, con una superficie lisa y coloración oscura, que puede ser una propiedad deseable cuando se usa como protector para revestimiento en alimentos que sean sensibles a la luz como el chocolate o los granos de café. En este mismo sentido, Behbahani y colaboradores en el 2018 [43], hicieron uso del mucílago de semilla de *Shirazi balangu* (*Lallemantia royleana*) para obtener un recubrimiento comestible para extender la vida útil de las rebanadas de carne de res. Los resultados mostraron que la envoltura de mucílago en la carne de res mejoró la vida útil al prevenir la oxidación por los lípidos y el deterioro microbiano propiciando su empleo como un material activo de embalaje.

Los estudios recientes citados en la literatura revelaron que las algas marinas y sus polisacáridos extraídos podrían ser utilizados como revestimientos comestibles y materiales de película [44]. Al igual que otros polisacáridos, las algas son también una fuente abundante, económica y respetuosa con el medio ambiente, donde el alginato, la carragenina y el agar pueden considerarse productos comunes derivados de algas marinas que exhiben propiedades formadoras de película.

Un claro ejemplo de la disponibilidad de estos agentes sustentables, es lo reportado por Kim y colaboradores en el 2018 [45], donde desarrollaron películas comestibles usando gulfweed (alga ramificada color oliva-marrón), para ambas formas de película y recubrimiento se llevaron a la aplicación sobre el salmón ahumado. Este estudio reveló que recubrir el salmón ahumado con la suspensión obtenida de gulfweed mejoró el enrojecimiento sin alterar su textura y propiedades volátiles. En general, se están investigando muchos polímeros nuevos como posibles envases comestibles; además, las películas y recubrimientos comestibles producidos de un solo tipo de biopolímero proporciona tanto ventajas como desventajas. Por lo tanto, la mayoría de los estudios se centran en la mezcla de varios polímeros o la incorporación de diferentes componentes. para obtener materiales comestibles con propiedades funcionales apropiadas. En la Tabla 1, se enlistan los principales biopolímeros empleados en la formulación de películas para algunos derivados de los alimentos.

Tabla 1. Biopolímeros empleados en la formulación de películas comestibles [46].

Proteínas (Origen animal)	Proteínas (Origen vegetal)	Polisacáridos	Lípidos y ceras	Residuos agroindustriales
Caseína (leche)	Aceite de Soya	Quitosano	Cera de candelilla	Residuos de frutas y vegetales
Proteína muscular	Aceite de Oliva	Alginato	Cera de carnauba	Desechos de fuente vinícola
Lana	Aceite de maíz	Derivados de celulosa		Bagazo de caña de azúcar
Pluma	Canola	Granos/semillas		
Clara de huevo	Girasol	Gomas		

Otro ejemplo claro para el proceso de empacado en los productos alimenticios, es a partir del biopolímero quitosano. Las propiedades del quitosano no son independientes sino interdependientes, es ahí donde entra su naturaleza única. Las propiedades se atribuyen principalmente a la presencia de los grupos amina en la cadena de quitosano que se forman como resultado de la des-acetilación de la estructura de quitina. Por lo tanto, el grado de des-acetilación es un factor importante. aspecto donde se originan las propiedades. Este grado de protonación de los grupos amino gobierna la densidad de carga en la cadena de quitosano, que afecta directamente la solubilidad del quitosano en los medios acuosos. Además, variar el pH produce una variación en la protonación de los grupos amina, lo que conduce a una variación en la densidad de carga y la solubilidad del quitosano. Aunado a esto, la conformación en la cadena del quitosano también se ve afectada por la densidad de carga ya que las fuerzas repulsivas influyen en los grupos cargados que conducen a la extensión de la cadena. Los conformeros de la cadena afectan las propiedades mecánicas y de barrera de las películas de quitosano, mismos que poseen un valor significativo cuando se trata de envases de alimentos [47]. Mas adelante se abordará la relación que los polisacáridos como fuente principal de biopolímeros para mejorar la vida de anaquel en los productos alimenticios.

El aprovechamiento de los polímeros comestibles se refieren a los materiales poliméricos que pueden ser consumidos por los seres humanos, animales o microorganismos sin producir ningún efecto nocivo para la salud [48], estos se clasifican en polisacáridos, proteínas y lípidos, donde han ganado una aplicación cada vez mayor principalmente en industrias de alimentos funcionales (envasado de alimentos y protección de nutrientes) y campos biomédicos (administración de medicamentos, ingeniería de tejidos y vendajes para heridas) [49]. Las propiedades importantes de los polímeros

comestibles que los convierten en la opción superior sobre los no biodegradables incluyen su biodegradabilidad, biocompatibilidad y reciclabilidad. Además, pueden evitar problemas ambientales como la reducción contaminación, mejorar la reciclabilidad de los materiales, producir productos ecológicos y proporcionar sostenibilidad [50]. Los polímeros comestibles se producen únicamente a partir de componentes renovables y seguros para el consumo; por lo tanto, se espera que se degraden más fácilmente que otros materiales poliméricos.

Se han centrado y enfocado en gran medida todos los esfuerzos posibles en la disponibilidad de los carbohidratos como fuentes sustentables altamente convenientes como material base en la síntesis de polímeros biodegradables (biocompuestos y/o biopolímeros). Son consideradas como macromoléculas complejas formadas por dos o más monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos a través de reacciones de condensación [49]. Las propiedades físicas de los polisacáridos dependen principalmente de los monosacáridos, su forma y la vinculación o acomodo estructural. Son insolubles en alcohol y solventes no polares, principalmente presentan una coloración blanca, insípido y rara vez cristalino. Además, no tienen actividad óptica. Los polisacáridos también son buenos conservadores de energía, almacenamiento de combustible moléculas e intermediarios metabólicos. En las industrias alimentarias y no alimentarias, son evaluables comercialmente como estabilizadores, espesantes, agentes gelificantes y encapsulantes, e inhibidores de la cristalización. Los polisacáridos tienen algunas características excelentes entre los biopolímeros más comestibles, debido a sus funcionalidades tan versátiles y por supuesto su biocompatibilidad [51,52].

Otro de los ejemplos de polímeros comestibles a base de polisacáridos se incluye el almidón. Es insípido, relativamente barato, abundante, inodoro, biológicamente absorbible, no tóxico, semipermeable al dióxido de carbono, incoloro y resistente al oxígeno [51]. La mayoría de están compuestos de anidro glucosa residuos que comprenden amilasa lineal y amilopectina ramificada que son de numerosas fuentes botánicas como maíz, trigo, yuca, arroz, papa, ñame, entre otras [53,54].

Además de la eficacia de las películas y recubrimientos para prevenir el deterioro de los alimentos y el crecimiento de microorganismos patógenos en la superficies, pueden proteger los alimentos del deterioro físico, químico y biológico durante el almacenamiento/manipulación/transporte, mejorando así el movimiento selectivo del agua vapor, gas, soluto y humedad, propiedades de manejo mecánico, calidad nutricional, visual y propiedades sensoriales en las superficies del producto y la funcionalidad del producto alimenticio, sin cambiar sus ingredientes originales [55-57]. Para algunas aplicaciones, la capa considerada comestible se puede implementar en las interfaces como un componente heterogéneo en el interior para separar porciones distintas de alimentos. De acuerdo a esto, se han hecho numerosos estudios para extender la vida útil de anaquel de diferentes tipos de alimentos como frutas, alimentos musculares, queso, etc; usando películas/recubrimientos comestibles.

Donde es importante no sólo prevenir el deterioro de calidad sensorial, sino que también conservan el valor nutricional de los alimentos [58-60]. Para esto, se requiere una barrera contra la humedad y el transporte de oxígeno, en la industria de los alimentos funcionales, aditivos como aromatizantes, agentes antimicrobianos, agentes antioxidantes, pigmentos, edulcorantes, vitaminas y nutracéuticos pueden ser incorporados a películas biodegradables [61]. Los agentes incorporados también pueden transferirse del material de envasado al alimento, logrando que los materiales que prolongan la vida útil mejoren la seguridad y la calidad de los alimentos [62].

Uno de los conceptos mas abordados en los trabajos con mayor reporte en la literatura que han centrado esfuerzos en el aprovechamiento de los biomateriales extraídos de la misma naturaleza, considerados como empaques inteligentes,

El envasado inteligente de alimentos está emergiendo como una necesidad primaria para las industrias alimentarias, involucrando tanto funciones activas e inteligentes para cualquier alimento que presente una vida muy corta de existencia. Poseen un potencial tanto para la protección como para el monitoreo de los alimentos envasados y/o condiciones del entorno que los rodea. En general, entre ellos se enlistan sensores, soportes de datos e indicadores como las principales tecnologías en los sistemas de envasado inteligente.

Entre ellos, los indicadores han sido ampliamente estudiados, los cuales pueden ofrecer información cualitativa o semicuantitativa utilizando cambios en su color. De acuerdo a lo reportado en la literatura, estos cambios son fácilmente legibles a simple vista [63,64].

Como indicador, se ha estudiado el indicador sensible a la acidez y alcalinidad, en las últimas décadas se ha prestado más atención a los hechos de materiales naturales, seguros y materiales ecológicos que presentan modificaciones estructurales, coloración, foto degradación, etc; debidas a la descomposición gradual del producto alimenticio [64,65]. En un estudio reciente, una película comestible y sensible al pH combinada con estudios electroquímicos se introdujeron en la literatura para el envasado y disposición final de materiales inteligentes en alimentos [64].

Una película compuesta de gelatina, goma tipo gellan y extracto de antocianinas de rábano color rojo (RRA), exhibió un cambio de color naranja rojizo a amarillo en el rango de pH de 2-12, el color de la película compuesta cambió a medida que tanto el producto lácteo y pescado se fueron descomponiendo con el tiempo, lo que indica su aplicación como un sensor de liberación de gas para controlar el deterioro de los alimentos como parte del sistema de embalaje inteligente.

Otra preocupación creciente que atrajo a investigadores académicos e industrias es la producción de materiales de alto valor agregado a partir de residuos de biomasa como materias primas tales como cáscara de piña, cáscaras de semillas de sagú, paja de arroz, residuos de algas rojas y bagazo de caña de azúcar con la finalidad de reducir los problemas de contaminación ambiental. Por ejemplo, en uno de esos ejemplos, se reportó de forma exitosa la producción de nanocrstales de celulosa extraídas del

bagazo de caña de azúcar, incluyendo un nano-refuerzo para película una película de carragenina en aplicaciones de envasado de alimentos [66]. Se midieron propiedades mecánicas, como la resistencia mecánica mejorada y la tenacidad, la cual se obtuvo mediante la incorporación de 8% de los nanocristales, donde las interacciones fueron favorables entre los grupos funcionales de este nanomaterial y el biopolímero de carragenina.

Otro de los estudios recientemente abordados, es la implementación de la tecnología de micro patrones para desarrollar una película comestible para producir tejido muscular o carne *in vitro*, de acuerdo a lo reportado por Acevedo y colaboradores en el 2018 [67]. En este trabajo, las películas comestibles fueron elaboradas por fundición en frío utilizando ingredientes no bovinos y biopolímeros como el alginato de sodio y gelatina de pescado, un agente gelificante como la agarosa y un plastificante comestible como glicerol. Los resultados obtenidos demostraron que las películas comestibles desarrolladas son biocompatibles con las células musculares con capacidad de adhesión y proliferación celular. Mostraron resultados confiables para la implementación de los mioblastos se cultivaron a través de los micro canales con morfología similar a las fibras, mismas que actuaron como fibras musculares que expresan marcadores miogénicos como la desmina y miogenina [67].

Otro claro ejemplo para los alimentos en estado líquido como la miel y la leche, los cuales suelen adherirse al interior de los recipientes, lo que da como resultado en el desperdicio de alimentos. Los recubrimientos para estos productos son considerados súper hidrofóbicos lo cual ha ganado una aplicación para reducir alimento líquido residual [68]. De esta forma, se ha fabricado un recubrimiento comestible de micro o nanoestructura con propiedades termorresistentes y superhidrofóbicas utilizando la cera de abeja y café a través de una boquilla de pulverización [68]. El recubrimiento indujo un aparente ángulo de contacto superior a 150° incluso después de mucho tiempo de calentamiento y lavado. Una gran variedad de los alimentos considerados en estado líquido, podrían rodar libremente sobre la superficie del recipiente recubierto en forma esférica o cuasi-esférica. Este revestimiento especial ofrece una amplia gama de aplicaciones en el envasado de alimentos considerados funcionales. Otro punto importante que abordan los investigadores, está relacionado con la absorción de grasa o aceite de los alimentos, lo cual ha causado serios problemas de salud como obesidad, diabetes y trastornos cardíacos/cardiovasculares. En este caso, se han utilizado recubrimientos comestibles aplicados como barrera para la absorción de lípidos por parte de los alimentos durante los tiempos de freidura. La absorción de aceites o grasas está relacionada con el escape de agua dentro de los poros, lo que resultó en el llenado de los poros, con algo más denso y complicado de eliminar, que en la mayoría de los casos no proporciona ninguna funcionalidad al producto resultante. Cuando si son aprovechables, este recubrimiento podría tener propiedades mecánicas y de barrera deseables, especialmente los recubrimientos a base de proteínas considerados

mayormente superiores que los recubrimientos provenientes de los polisacáridos. De esta manera, se han investigado fuentes para la reducción de la absorción de grasas como la zeína de maíz, la clara de huevo, suero de leche, pescado, gluten de trigo, soya, y tejido blando (musculo) de pollo u/o pescado [69,70].

2. CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los estudios mostrados en este manuscrito, la aceptabilidad de los biopolímeros con la capacidad de ser comestibles para seres vivos (humanos y animales), exhibe un bajo riesgo en la toxicidad debido a su alta digestibilidad y biocompatibilidad. Estas propiedades han promovido claramente una nueva ola en el area de investigación científica y tecnológica, evidenciando en gran medida un aumento exponencial en el número de publicaciones durante los últimos años. Esta nueva tendencia en la producción de envases compuestos por ingredientes activos oportunos y sostenibles para el almacenamiento de y disposición son capaces de aportar excelentes componentes bioactivos, siendo la principal razón de la investigación sobre la fabricación de comestibles biopoliméricos en el sector alimenticio como una mejora que satisface necesidades y prevé una mejora en el medio ambiente.

3. REFERENCIAS

- [1] Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International journal of biological macromolecules*, 109, 1095-1107.
- [2] Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292-303.
- [3] Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283.
- [4] Salgado, P. R., Ortiz, C. M., Musso, Y. S., Di Giorgio, L., & Mauri, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5, 86-92.
- [5] Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in food science & technology*, 20(10), 438-447.
- [6] Galus, S., Arik Kibar, E. A., Gniewosz, M., & Kraśniewska, K. (2020). Novel materials in the preparation of edible films and coatings—A review. *Coatings*, 10(7), 674.
- [7] Blanco-Pascual, N., & Gómez-Estaca, J. (2016). Production and processing of edible packaging. *Edible Food Packag Mater Process Technol*, 36, 153.
- [8] Lopez, O. V., Garcia, M. A., & Zaritzky, N. E. (2010). Novel sources of edible films and coatings.

- [9] Giosafatto, C. V. L., Al-Asmar, A., D'Angelo, A., Roviello, V., Esposito, M., & Mariniello, L. (2018). Preparation and characterization of bioplastics from grass pea flour cast in the presence of microbial transglutaminase. *Coatings*, 8(12), 435.
- [10] Aydogdu, A., Kirtil, E., Sumnu, G., Oztop, M. H., & Aydogdu, Y. (2018). Utilization of lentil flour as a biopolymer source for the development of edible films. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(23), 46356.
- [11] Díaz, O., Ferreiro, T., Rodríguez-Otero, J. L., & Cobos, Á. (2019). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour films: Effects of pH and plasticizer concentration. *International journal of molecular sciences*, 20(5), 1246.
- [12] Bourtoom, T. (2008). Factors affecting the properties of edible film prepared from mung bean proteins. *International Food Research Journal*, 15(2), 167-180.
- [13] Montalvo-Paquini, C., Avila-Sosa, R., López-Malo, A., & Palou, E. (2018). Preparation and characterization of proteinaceous films from seven Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Quality*, 2018.
- [14] Ochoa-Yepes, O., Medina-Jaramillo, C., Guz, L., & Famá, L. (2018). Biodegradable and edible starch composites with fiber-rich lentil flour to use as food packaging. *Starch-Stärke*, 70(7-8), 1700222.
- [15] Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., do Amaral Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30(2), 681-690.
- [16] Roberta, M. S. A., Mariana, S. L. F., & Édira, C. B. A. G. (2014). Functional capacity of flour obtained from residues of fruit and vegetables. *International Food Research Journal*, 21(4), 1675.
- [17] Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E. C. B. A., Martelli-Tosi, M., & Ferreira, M. S. L. (2019). Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. *Food Research International*, 121, 412-421.
- [18] Wang, X., Kong, D., Ma, Z., & Zhao, R. (2015). Effect of carrot puree edible films on quality preservation of fresh-cut carrots. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 54(1), 64-71.
- [19] McHugh, T. H., & Senesi, E. (2000). Apple wraps: a novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*, 65(3), 480-485.
- [20] Rangel-Marrón, M., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2019). Effects of alginate-glycerol-citric acid concentrations on selected physical, mechanical, and barrier properties of papaya puree-based edible films and coatings, as evaluated by response surface methodology. *Lwt*, 101, 83-91.
- [21] Sothornvit, R., & Pitak, N. (2007). Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International*, 40(3), 365-370.
- [22] Andrade, R. M., Ferreira, M. S., & Gonçalves, É. C. (2016). Development and characterization of edible films based on fruit and vegetable residues. *Journal of Food Science*, 81(2), E412-E418.
- [23] De Faria Arquelau, P. B., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., de Araújo, R. L. B., & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe "Prata" banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 570-578.

- [24] Mariniello, L., Giosafatto, C. V. L., Di Pierro, P., Sorrentino, A., & Porta, R. (2010). Swelling, mechanical, and barrier properties of albedo-based films prepared in the presence of phaseolin cross-linked or not by transglutaminase. *Biomacromolecules*, 11(9), 2394-2398.
- [25] Wu, H., Lei, Y., Zhu, R., Zhao, M., Lu, J., Xiao, D., ... & Li, S. (2019). Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporating tea polyphenol. *Food Hydrocolloids*, 90, 41-49.
- [26] Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate polymers*, 88(2), 449-458.
- [27] Van Hung, P., & Morita, N. (2005). Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydrate polymers*, 61(3), 314-321.
- [28] Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2005). Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 157-164.
- [29] Galindez, A., Daza, L. D., Homez-Jara, A., Eim, V. S., & Váquiro, H. A. (2019). Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature. *Carbohydrate polymers*, 215, 143-150.
- [30] Bae, H. J., Cha, D. S., Whiteside, W. S., & Park, H. J. (2008). Film and pharmaceutical hard capsule formation properties of mungbean, waterchestnut, and sweet potato starches. *Food Chemistry*, 106(1), 96-105.
- [31] Gutiérrez, T.J.; Herniou-Julien, C.; Álvarez, K.; Alvarez, V.A. Structural properties and in vitro digestibility of edible and pH-sensitive films made from guinea arrowroot starch and wastes from wine manufacture. *Carbohydr. Polym.* 2018, 184, 135–143.
- [32] Patel, S., & Goyal, A. (2015). Applications of natural polymer gum arabic: a review. *International Journal of Food Properties*, 18(5), 986-998.
- [33] Mahfoudhi, N., & Hamdi, S. (2015). Use of Almond Gum and Gum Arabic as Novel Edible Coating to Delay Postharvest Ripening and to Maintain Sweet Cherry (*Prunus avium*) Quality during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1499-1508.
- [34] Arnold, F.W. Gum Arabic Coatings for Nut Products. U.S. Patent 3 1963 383 220, 1963.
- [35] Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P. G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest biology and technology*, 58(1), 42-47.
- [36] El-Anany, A. M., Hassan, G. F. A., & Ali, F. R. (2009). Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. *Journal of food technology*, 7(1), 5-11.
- [37] Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G. K., Zhai, X., & Mariod, A. A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3), e12527.
- [38] Bashir, M.; Haripriya, S. Assessment of physical and structural characteristics of almond gum. *Int. J. Biol. Macromol.* 2016, 93, 476–482.
- [39] Robles-Flores, G.; Abud-Arcgilla, M.; Ventura-Canseco, L.M.C.; Meza-Gordillo, R.; Grajales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M.A.; Gutiérrez-Miceli, F.A. Development and evaluation of a film and

edible coating obtained from the Cajanus cajan seed applied to fresh strawberry fruit. *Food Bioproc. Technol.* 2018, 11, 2172–2181.

- [40] Daudt, R.M.; Avena-Bustillos, R.J.; Williams, T.; Wood, D.F.; Kulkamp-Guerreiro, I.C.; Marczak, L.D.F.; McHugh, T.H. Comparative study on properties of edible films based on pinhão (*Araucaria angustifolia*) starch and flour. *Food Hydrocoll.* 2016, 60, 279–287.
- [41] Riaz, S., Sultan, M. T., Sibt-e-Abass, M., Imran, M., Ahmad, R. S., Hussain, M. B., ... & Egorova, G. N. (2021). Extraction of polysaccharides from opuntia cactus for its potential application in edible coating to improve the shelf life of citrus (Kinnow mandarin) fruit. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 745-750.
- [42] Oliveira, N. L., Rodrigues, A. A., Neves, I. C. O., Lago, A. M. T., Borges, S. V., & de Resende, J. V. (2019). Development and characterization of biodegradable films based on Pereskia aculeata Miller mucilage. *Industrial Crops and Products*, 130, 499-510.
- [43] Behbahani, B. A., & Fooladi, A. A. I. (2018). Shirazi balangu (*Lallemantia royleana*) seed mucilage: Chemical composition, molecular weight, biological activity and its evaluation as edible coating on beefs. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 882-889.
- [44] Khalil, H. P. S., Tye, Y. Y., Saurabh, C. K., Leh, C. P., Lai, T. K., Chong, E. W. N., ... & Syakir, M. I. (2017). Biodegradable polymer films from seaweed polysaccharides: A review on cellulose as a reinforcement material. *Express Polymer Letters*, 11(4).
- [45] Kim, S.Y.; Kang, J.H.; Jo, J.H.; Min, S.C. Development of a gulfweed-based edible coating using high-pressure homogenization and its application to smoked salmon. *J. Food Sci.* 2018, 83, 3027–3034.
- [46] Mikus, M., Galus, S., Ciurzyńska, A., & Janowicz, M. (2021). Development and characterization of novel composite films based on soy protein isolate and oilseed flours. *Molecules*, 26(12), 3738.
- [47] Kerch, G., & Korkhov, V. (2011). Effect of storage time and temperature on structure, mechanical and barrier properties of chitosan-based films. *European Food Research and Technology*, 232(1), 17-22.
- [48] Ali, A., & Ahmed, S. (2018). Recent advances in edible polymer based hydrogels as a sustainable alternative to conventional polymers. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(27), 6940-6967.
- [49] Ali, A., & Ahmed, S. (2018). Development of hydrogels from edible polymers. In *Polymers for Food Applications* (pp. 551-589). Springer, Cham.
- [50] Shit, S. C., & Shah, P. M. (2014). Edible polymers: challenges and opportunities. *Journal of Polymers*, 2014.
- [51] Hassan, M., Chatha, S. A. S., Tahira, I., & Hussain, B. (2010). Total lipids and fatty acid profile in the liver of wild and farmed catla fish. *Grasas Y Aceites*, 61(1), 52-57.
- [52] Pasqui, D., De Cagna, M., & Barbucci, R. (2012). Polysaccharide-based hydrogels: the key role of water in affecting mechanical properties. *Polymers*, 4(3), 1517-1534.
- [53] Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., López-Córdoba, A., & Goyanes, S. (2017). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food hydrocolloids*, 63, 488-495.

- [54] Wróblewska-Krepsztul, J., Rydzkowski, T., Borowski, G., Szczypiński, M., Klepka, T., & Thakur, V. K. (2018). Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 23(4), 383-395.
- [55] Ansorena, M. R., Pereda, M., & Marcovich, N. E. (2018). Edible films. In *Polymers for food applications* (pp. 5-24). Springer, Cham.
- [56] Harnkarnsujarit, N. (2017). Glass-transition and non-equilibrium states of edible films and barriers. In *Non-equilibrium states and glass transitions in foods* (pp. 349-377). Woodhead Publishing.
- [57] Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2016). Combinational edible antimicrobial films and coatings. *Antimicrobial food packaging*, 633-646.
- [58] Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food chemistry*, 240, 505-513.
- [59] Matak, K. E., Tahergorabi, R., & Jaczynski, J. (2015). A review: Protein isolates recovered by isoelectric solubilization/precipitation processing from muscle food by-products as a component of nutraceutical foods. *Food Research International*, 77, 697-703.
- [60] Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Lalitha, K. V., & Gopal, T. S. (2012). Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) during chilled storage. *Food hydrocolloids*, 26(1), 167-174.
- [61] Arrieta, M. P., Peltzer, M. A., López, J., del Carmen Garrigós, M., Valente, A. J., & Jiménez, A. (2014). Functional properties of sodium and calcium caseinate antimicrobial active films containing carvacrol. *Journal of Food Engineering*, 121, 94-101.
- [62] Bonilla, J., Atarés, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2013). Properties of wheat starch film-forming dispersions and films as affected by chitosan addition. *Journal of Food Engineering*, 114(3), 303-312.
- [63] Mustafa, F., & Andreescu, S. (2018). Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. *Foods*, 7(10), 168.
- [64] Zhai, X., Li, Z., Zhang, J., Shi, J., Zou, X., Huang, X., ... & Povey, M. (2018). Natural biomaterial-based edible and pH-sensitive films combined with electrochemical writing for intelligent food packaging. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(48), 12836-12846.
- [65] Dudnyk, I., Janeček, E. R., Vaucher-Joset, J., & Stellacci, F. (2018). Edible sensors for meat and seafood freshness. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 259, 1108-1112.
- [66] Kassab, Z., Aziz, F., Hannache, H., Youcef, H. B., & El Achaby, M. (2019). Improved mechanical properties of k-carrageenan-based nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals. *International journal of biological macromolecules*, 123, 1248-1256.
- [67] Acevedo, C. A., Orellana, N., Avarias, K., Ortiz, R., Benavente, D., & Prieto, P. (2018). Micropatterning technology to design an edible film for in vitro meat production. *Food and bioprocess technology*, 11(7), 1267-1273.

- [68] Yang, Y., Fang, Z., Chen, X., Zhang, W., Xie, Y., Chen, Y., ... & Yuan, W. (2017). An overview of Pickering emulsions: solid-particle materials, classification, morphology, and applications. *Frontiers in pharmacology*, 8, 287.
- [69] Ananey-Obiri, D., Matthews, L., Azahrani, M. H., Ibrahim, S. A., Galanakis, C. M., & Tahergorabi, R. (2018). Application of protein-based edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 167-174.
- [70] Kouhi, M., Prabhakaran, M. P., & Ramakrishna, S. (2020). Edible polymers: An insight into its application in food, biomedicine and cosmetics. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 248-263.