Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

Biopolímeros y algunas de sus aplicaciones

Biopolymers and their applications

M. de J. Laredo – Guia, L. Farías-Cepeda*, Adalí O. Castañeda Facio, Y. Karina Reyes Acosta

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Venustiano Carranza. S/N. C.P. 25280, Colonia Republica; Saltillo, Coahuila.

*Autor de correspondencia: Dra. L. Farías-Cepeda, E-mail: lorenafarias@uadec.edu.mx

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

Resumen

Se presenta un análisis de la literatura referente a la obtención y aplicaciones de algunos biopolímeros, como sustitutos de polímeros sintéticos. Se desea mitigar el impacto ambiental provocado el uso excesivo de los polímeros sintéticos mediante su sustitución por biopolímeros. Los biopolímeros más utilizados son el almidón, el agar, el quitosano, las algas, poli(hidroxialcoanoatos) (PHAs), poli(ácido láctico) (PLA), entre otros. Los biopolímeros pueden ser empleados como películas o recubrimientos en empaques, liberadores de fármacos y regeneración tisular, así como en la industria automotriz, alimenticia, etc. Ente las principales características de los biopolímeros es que son biodegradables, biocompatibles, no son tóxicos y algunos de ellos pueden ser antioxidantes, antimicrobianos además se pueden funcionalizar y formar biocompuestos para mejorar sus propiedades de procesabilidad, térmicas y mecánicas. Sin embargo, la producción masiva de los biopolímeros aún está en desarrollo**.**

Palabras clave: Polímero, biopolímero, biodegradable.

Abstract

A literature analysis is presented about the obtention and application of biopolymers, as substitutes for synthetic polymers in other to mitigate the environmental impact caused by their excessive use. The most widely used biopolymers are starch, agar, chitosan, algae, poly(hydroxyalcanoates) (PHAs), poly(lactic acid), among others. Some biopolymers

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

applications are as films or coating in packing, drug releases and tissues regeneration, also in the automotive and food industry and others. The main characteristics of biopolymers are biodegradability, biocompatibility, non-toxic and some of them can be antioxidants, antimicrobials, also they can be functionalized or form biocomposites to improve their processability, thermal and mechanical proprieties. However, the mass production of biopolymers is still under development.

Keywords: Polymer, biopolymer, biodegradable.

Introducción

El uso de los polímeros sintéticos formulados a base de petróleo ha provocado la contaminación de ríos y mares afectando la calidad del suelo y del agua, haciendo un gran daño en la ecología por los desechos generados. Uno de los principales problemas es el tiempo de degradación que tienen los polímeros sintéticos, la cual puede llegar a ser mayor de 150 años. Dada esta problemática se han realizado distintas investigaciones enfocadas a buscar alternativas para remplazar a los polímeros sintéticos por polímeros naturales (biopolímeros) ya que la mayoría de estos se degradan en menor tiempo y son descompuestos fácilmente por organismos vivos (biodegradable) en comparación con los sintéticos, además se busca que los biopolímeros presenten propiedades similares a la de los polímeros sintéticos para utilizarlos como sustitos en sus diferentes aplicaciones. Entre los biopolímeros que más se utilizan son el quitosano, el agar, la celulosa, el PLA entre otros, generalmente como sustitutos de recubrimientos plásticos y otras aplicaciones aprovechando sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes, no toxicidad y biodegradabilidad. En el presente artículo se

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

hace un breve análisis de la literatura sobre el panorama general de los biopolímeros utilizados como películas o recubrimientos, por ejemplo, en el área alimenticia y de la salud.

Antecedentes

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) evidenció en octubre del 2021 que la contaminación se ha acrecentado enormemente por el uso de polímeros sintéticos y se pronostica un incremento al doble para el año 2030. En un análisis estos desechos están relacionados con la generación de 1.7 gigatoneladas de CO_2 a nivel mundial, por lo que se requiere urgentemente generar alternativas para remplazar los plásticos y/o en su defecto proponer mejores maneras de reusarlos y reciclarlos para tratar de mitigar su impacto ambiental *(ONU programa para el medio ambiente, 2021).*

Como alternativa ecológica para mitigar la contaminación, el efecto, se busca el remplazo de los polímeros sintéticos por lo que, se investigan distintos biopolímeros como sustitutos en diversas aplicaciones, una de ellas es el empaque de alimentos, donde los biopolímeros pueden ser procesados mediante las mismas técnicas que los sintéticos, facilitando su manejo *(Valero-Valdivieso y col., 2013).* Los biopolímeros son polímeros que son de origen natural y su principal característica es que son biodegradables, donde los más comunes provienen de plantas o residuos biodegradables, entre los que se encuentran el almidón, la celulosa, algunos poliésteres, celofán, los polihidroxialcanoatos y el ácido poliláctico, entre otros. Sn embargo la mayoría de los biopolímeros tienen bajas propiedades mecánicas por lo que es necesario el uso de aditivos para mejorar las propiedades y poder utilizarlos como sustitutos

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

de los sintéticos, por lo que es necesario invertir mayor cantidad de recursos de investigación para desarrollar biopolímeros con buenas propiedades *ZSCHIMMER & SCHWARZ ESPAÑA, 2022), (Sid y col., 2021).* En la Figura 1 se muestran las principales características de los biopolímeros y algunas de sus aplicaciones.

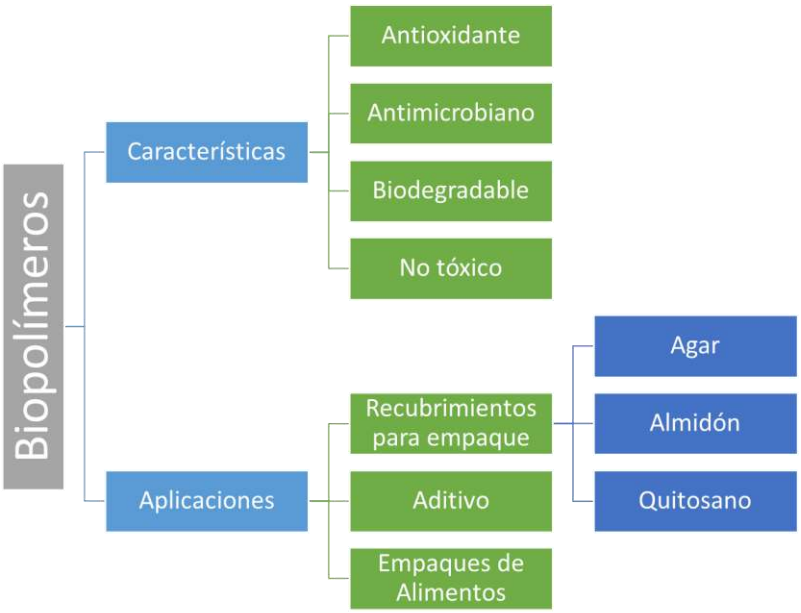

Figura 1, Características y aplicaciones de biopolímeros. Autoría propia.

Obtención de biopolímeros

Actualmente se reutilizan algunos desperdicios agroindustriales como sustratos para generar biopolímeros, debido su naturaleza, generalmente se obtienen mediante extracción o fermentación en estado sólido, ya sea con tratamiento o sin pretratamiento. Una vez extraídos los azúcares fermentables, se obtienen subproductos como la celulosa, el almidón, la pectina. En el caso de la quitina (derivado del quitosano) además de la fermentación también se puede

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

obtener vía enzimática, generalmente a partir de caparazones de algunos crustáceos *(Ranganathan y col., 2020)*.

Otra manera de obtener biopolímeros es sintetizarlos a partir de monómeros de origen natural o biomonómeros tales como los ácidos, glucónico, láctico, itacónico. En la actualidad el 98% de los polímeros son derivados del petróleo, por lo que se buscas nuevas alternativas para producir biopolímeros. Dentro del concepto de biorrefinería Magalhães y col. proponen que los ácidos, glucónico, láctico, itacónico son una alternativa rentable para la producción de biopolímeros. *(Magalhães Júnior y col., 2021).*

Los terpenos son hidrocarburos que contienen uno o más dobles enlaces y que además algunos de ellos contienen una unidad de isopreno dentro de su estructura molecular (ver Figura 2), estos son abundantes y baratos ya que se extraen de coníferas y algunas semillas, lo que los suele hacer una materia prima ideal para la síntesis de fragancias, sabores, fármacos y solventes. Sin embargo, muy pocos de estos han sido estudiados como monómeros para biopolímeros. Solo el α-pineno, β-pineno, mirceno y el limoneno han sido estudiados extensamente para la síntesis de biopolímeros *(Wilbon y col., 2013)*.

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

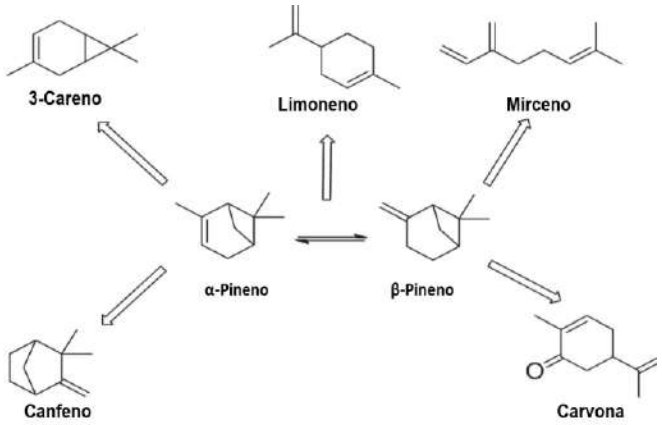

Figura 1. Estructuras químicas de algunos derivados de los terpenos *(Wilbon y col., 2012*).

Además de los anteriores se está utilizando el mucilago de diferentes plantas como el nopal y la chia. del nopal se puede usar el extracto, la baba y hasta el mucilago, algunas de sus aplicaciones registradas son como pegamento, impermeabilizante, protector de murales y más recientemente como un biopolímero *(Aguilar, 2022*). En ese mismo sentido el mucilago de chia que es utilizado la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica como aditivo espesante o como películas, generalmente se extra por técnicas de ultrasonido *(Silva y col., 2022)*.

Los poli(hidroxialcanoatos) (PHA) son biopolímeros de tipo poliésteres sintetizados por cierto tipo de bacterias que los acumulan como reservas de carbono y energía, que tienen forma de gránulos intra-citoplasmáticos, constituidos por unidades repetitivas de diversos hidroxiácidos o mezclas de ellos, producidos mediante fermentación de materias primas renovables. El microrganismo produce los PHA directamente mediante fermentación de una fuente de carbono. Los PHAs pueden ser degradados hasta CO_2 y agua o metano dependiendo

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

de las condiciones por acción de las enzimas PHA despolimerasas y PHA hidrolasas. Existen más de 150 tipos de PHA, bebido a la gran diversidad de sustratos agroindustriales utilizados (material orgánico de bajo costo) y a la cepa bacteriana que se pueden utilizar para obtenerlos. Por lo que cada combinación de sustrato y cepa pude generar diferente tipo y composición de monómeros constituyentes por lo que se pueden adaptar para lograr la mayor biocompatibilidad y mejorar propiedades de uso final, así como una tasa de degradación del polímero deseado. Los PHAs tienen un alto grado de polimerización, con un grado de cristalinidad entre el 60 y 80%, son activos óptimamente, isotácticos e insolubles en agua. Estas características los hacen altamente competitivos con el polipropileno y otros plásticos derivados del petróleo. Entre las aplicaciones más destacadas de los PHAs son aplicaciones biomédicas y sé que se ha demostrado que es biodegradable en un sinfín de ambientes; como películas de empaquetado en bolsas, contenedores y empaques de papel. Se han reportado otras aplicaciones como utensilios, productos higiénicos femeninos, contenedores de cosméticos y envases de shampoo, también como liberadores de fármacos y agroquímicos, así como en ingeniería tisular *(Valero-Valdivieso y col., 2013).*

Aplicaciones de los biopolímeros

Algunos de los biopolímeros que tienen avances a la fecha para remplazar los recubrimientos utilizados como empaques alimenticios son la celulosa y el quitosano debido a que son estos son biodegradables*(Mujtaba y col., 2022).* El quitosano es un derivado del desacetilado de la quitina proveniente de cangrejos, camarones y langostas *(Plackett, 2011).* Sin embargo, aun

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

su producción requiere mucho trabajo por lo que se busca optimizar el proceso*(Priyadarshi & Rhim, 2020).*

El agar es un alginato (polisacárido), entre sus propiedades destacan la de ser filmógeno transparente, no tóxico, biodegradable y soluble en agua *(Plackett, 2011),* es por eso que se desarrollan películas protectoras para aplicaciones de empaque. A pesar de sus buenas propiedades presenta algunas desventajas como que la película de agar puro, es relativamente frágil con baja elasticidad, pero con buena estabilidad térmica, alta sensibilidad al agua y alta permeabilidad lo que limita sus aplicaciones industriales *(Mostafavi & Zaeim, 2020).*

Una ventaja de los biopolímeros es que pueden utilizarse aquellos a base de plantas ya que sus componentes son biodegradables y algunos poseen características antimicrobianas o antioxidantes. En el 2020 Jafarzadeh y col. reportaron el uso de plantas tropicales y sus subproductos para fabricar envases de alimentos siendo así una opción ecológica y a su vez se demostró que pueden ayudar a mejorar la vida útil de los alimentos que son envasados en este tipo de empaque*(Jafarzadeh y col., 2020).*Dada la necesidad de tener opciones para remplazar los polímeros sintéticos en los empaques alimenticios se han investigado el uso de proteínas vegetales, como la proteína de soja, gluten de trigo, zeína de maíz y macrófitos para su uso en películas plásticas *(Assad y col., 2020).* Por otro lado, la fibroína de seda es un biopolímero que representa cerca del 70% de la fibra de seda que se obtienen de los capullos o de los desperdicios de la producción de la seda. Para el desarrollo de empaques de alimentos con fibroína de seda, esta puede modificar a otros biopolímeros (como aditivo) o la fibroína ser modificada con otros componentes. Entre las propiedades que confiere la

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

fibroína de seda al material de empaque es el aumento de la permeabilidad de oxígeno, resistencia a la rotura y una mayor velocidad de degradación del biopolímero *(Ríos y col., 2017).*

Gracía-Martínez y col. en 2020 desarrollaron un material compuesto a base del alga combinada con celulosa y almidón con el fin de utilizar el sargazo que se acumulaba en playas mexicanas. Ellos fabricaron un plato con este material el cual demostró tener menor tiempo de degradación y mayor dureza que el plato comercial (cartón), por lo que el material puede ser una alternativa para la fabricación de empaques amigables con el medio ambiente *(García Martínez y col., 2020).*

Por otro lado, existe la necesidad de mejorar los tratamientos médicos actuales tratando de evitar efectos secundarios, para ello es necesario el desarrollo de nuevos materiales. Por ello se empezaron a utilizar los sistemas de libración de medicamentes poliméricos y recientemente los sistemas biopolímeros como estrategias terapéuticas en la liberación de fármacos y en la ingeniería tisular. El reto al utilizar los biopolímeros es su solubilidad y su funcionalización, así como sus interacciones intramoleculares. Entre los biopolímeros más prometedores están la celulosa y el almidón, así como sus derivados, en forma de hidrogeles, películas y compuestos. Entre las afecciones que se están tratando con este tipo de sistemas biopoliméricos con infracción en hueso, infecciones microbianas y cáncer *(Gopinath y col., 2022).* Así mismo, Molina y col. en 2020 hacen un análisis del uso de diferentes biopolímeros como agentes de liberación de medicamentos ya que se pueden utilizar como cápsulas nanométricas, lo anterior debido a su versatilidad, además de ser antimicrobianos,

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

biocompatibles y biodegradables. Entre los biopolímeros más utilizados como liberadores de fármacos se encuentran PVA (alcohol polivinílico), la pectina, el quitosano, el almidón, entre otros. Alungas otras aplicaciones de estos biopolímeros son la biorremediación, la catálisis enzimática y el empaquetamiento de alimentos *(Molina & Flórez-Castillo, 2020).*

Los exopolisacáridos (EPS: sustancias poliméricas extracelulares) son compuestos excretados por algunos microorganismos (Pseudomonas, Lactococcus y Bacillus). Una aplicación de las aplicaciones de EPS es la biorremediación del medio ambiente consiste en su adición al suelo con el objeto de controlar la desertificación de este. Ya que reducen la erosión del suelo, al incrementar en la cohesión interpartícular, ya que modifica las características de retención de agua del suelo contra la evaporación mejorando la germinación de la vegetación. Así mismo se han empleado EPS para incrementar la fijación de nitrógeno en los suelos *(Ospina, 2015*).

Como se expuso los biopolímeros tienen diferentes aplicaciones y estas continúan aumentando encaminados a sustituir a los polímeros sintéticos. Lo anterior es debido a sus excelentes propiedades y su facilidad de modificación con diferentes métodos. La incorporación de diferentes aditivos a los biopolímeros los convierte en materiales más versátiles lo que amplía su abanico de aplicaciones, en áreas como medicina, agricultura, automotriz, alimenticia, entre otras. Los biopolímeros tienen grupos activos, los cuales pueden interaccionar con otros haciendo posible la formación de biocompuestos y así mejorar sus propiedades. Los aditivos utilizados pueden ser orgánicos e inorgánicos y en diferentes

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

escalas lo que genera una gran variedad de productos con muchísimas aplicaciones *(Amenorfe y col., 2022)*.

A partir de plantas y hongos se pueden obtener metabolitos secundarios naturales los cuales han atraído la atención de la industria de empaques alimenticio debido a sus propiedades antimicrobianas al inhibir el crecimiento de agentes patógenos y al evitar la oxidación de los alimentos. Dependiendo de la formulación, el método de preparación y de las interacciones físicas o químicas entre los grupos funcionales del biopolímero y el aditivo se pueden modular las propiedades mecánicas de la biopelícula *(Moeini y col., 2021)*. En ese sentido Oyekanmi y col. estudiaron el efecto de la concentración del aceite de canela como aditivo en películas de nanofibras de celulosa, lo que dio como resultado que estas películas presentaran mejores propiedades fisicoquímicas, térmicas y antimicrobianas por lo que demostraron que el aceite de canela ayuda a mejorar propiedades dependiendo de su concentración, y proponen que esas películas pueden ser una alternativa más ecología al ser utilizadas como empaques de alimentos *(Oyekanmi y col., 2021).*

El almidón utilizado como empaque

El almidón es un polisacárido, su principal componente es la amilosa y que es un biopolímero generado por plantas, razón por la cual es uno de los biopolímeros más abundantes. Por su abundancia es de bajo costo generalmente se obtiene de semillas, raíces y tubérculos, tiene

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

la característica de ser termoplástico. El almidón es ampliamente utilizado en la industria alimenticia y textil aunque es necesario optimizar sus procesos de obtención para tener un mayor aprovechamiento y generar beneficio ecológico al ser utilizado, razón por la cual se investiga como poder explorar sus propiedades para empaques *(Plackett, 2011)***.** El almidón pueden ser utilizado junto con otro biopolímero para formar películas y puede procesare mediante extrusión hasta por electro-hilado para formar fibras nanométricas *(Cheng col., 2021).*

Robayo-Gallego desarrollo un empaque inteligente que cambia de color cuando el queso Paipa se daña, lo que indicara a los consumidores si el queso es apto o no para su consumo. Utilizó un biopolímero a base de almidón de yuca, al cual se incorpora un pigmento natural en polvo llamado antocianina que cambia su tonalidad ante un cambio de pH en el queso. Para la formulación del empaque además del almidón de yuca y la antocianina utilizaron glicerol, agua y ácido cítrico. Ellos evaluaron el cambio de tonalidad de la película con el pH y la formulación que presento mayor cambio de tonalidad fue la que contenía el 5% ácido cítrico y 1% antocianina, igualmente, realizaron pruebas mecánicas y de permeabilidad al vapor de agua. *(Robayo-Gallego, 2018).*

Tarique y colaboradores estudiaron las propiedades de las fibras de arrurruz y el almidón de Maranta, los cuales son utilizados en la industria alimenticia como espesantes, además no son tóxicos para el ser humano, y no afectan el sistema sanguíneo. Ellos evaluaron sus propiedades mediante difracción de rayos X, y viscosimetría, y atribuyen que sus propiedades dependerán de la estructura del granulo. Gracias a su alto contenido de amilosa es factible su

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

uso para preparación de películas y empaques comestibles, es por ello que este tipo de almidón y las fibras de arrurruz son utilizados ampliamente en la industria farmacéutica, en productos cosméticos, textiles, etc. *(Tarique col., 2021).*

Los empaques biodegradables son una alternativa viable ya que tienen características que facilitan su degradación y de alguna manera lograr mitigar el impacto ambiental que el uso de los polímeros derivados del petróleo está causando *(Shaikh y col., 2021)*. Aunado a esto se han buscado alternativas para el desarrollo de empaques biodegradables, mostrando las ventajas que estos tienen dentro de las cuales se destaca el tiempo de descomposición, el hecho de ser más seguros por no ser tóxicos, el cómo su disposición puede disminuir el impacto ambiental ya que pudieran ser empaques comestibles. Se exploran todas las posibles aplicaciones que se les puede dar en la industria, buscando también su rentabilidad de producción, en el sector alimenticio se resalta que estos tipos de biopolímeros también son antimicrobianos y seguros en su uso lo que proporciona ventajas de estos. Buscando que en un futuro cercano se logre aprovechar todas las propiedades que este tipo de biopolímeros de origen natural ofrecen, por lo que se debe seguir investigando y desarrollando aplicaciones de estos *(Yuvaraj y col., 2021).*

Conclusiones

En acuerdo a la revisión realizada, es posible sustituir en algunas aplicaciones a los polímeros derivados del petróleo por biopolímeros, como lo es en empaques y recubrimientos de alimentos, agentes de liberación de medicamentos, regeneración tisular, entro otras. Algunos biopolímeros pueden ser utilizados como espesantes o recubrimiento alimenticos como son

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

los mucilagos de nopal y chia. El uso puede mitigar el impacto ambiental que ha generado el uso de polímeros sintéticos ya que son biodegradables por lo que se descomponen un menor tiempo en el medio habiente y hay algunos que pueden degradarse completamente en CO_2 y agua. así como el almidón y la celulosa se encuentran con abundancia en la naturaleza existen otros biopolímeros que son más difíciles de obtener por lo que actualmente se desarrollan nuevas técnicas de producción para que sean más rentables y se pueden comercializar a menor costo para maximizar sus beneficios.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Coahuila, por el acceso a la información para realización de esta revisión, y de igual manera se agradece a el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada # 826412. Además de agradecer a mi familia, esposo e hijos por ser la principal motivación para seguir esforzándome.

Referencias:

Aguilar, N. G. (2022). Biopolímeros: La explosión de la era eco-amigable. *RD-ICUAP*. *8*(23): Art. 23. http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/806

Amenorfe, L. P., Agorku, E. S., Sarpong, F., & Voegborlo, R. B. (2022). Innovative exploration of additive incorporated biopolymer-based composites. *Scientific African*. *17*: e01359. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01359

Apriyanto, A., Compart, J., & Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science*. *318*: 111223. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111223

Assad, I., Bhat, S. U., Gani, A., & Shah, A. (2020). Protein based packaging of plant origin: Fabrication, properties, recent advances and future perspectives. *International Journal of Biological Macromolecules*. *164*: 707–716. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.140

Cheng, H., Chen, L., McClements, D. J., Yang, T., Zhang, Z., Ren, F., Miao, M., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*.*114*: 70–82. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017

Gallego, J. D. R. (2018). Elaboración de un biopelímero a base de almidón de yuca como indicador de cambio de pH para un queso tipo Paipa. *2018*.

García Martínez, K., Sánchez Fuentes, C. E., Salazar Cano, J. R., Gómora Herrera, D. R., & Santana Cruz, A. (2020). Obtención y caracterización de un biopolímero a partir del alga (Sargassum sp.) para elaborar empaques de un solo uso en combinación con celulosa y almidón. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química. Año 6, número 6 (enero-diciembre de 2020). ISSN: 2448-6663*. http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/7754

Jafarzadeh, S., Jafari, S. M., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Uthaya Kumar, U. S., & Khalil, H. P. S. A. (2020). Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products.

Trends in Food Science & Technology. *100*: 262–277. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.017

Magalhães Júnior, A. I., Soccol, C. R., Camara, M. C., Molina Aulestia, D. T., Porto de Souza Vandenberghe, L., & Cesar de Carvalho, J. (2021). Challenges in the production of second-generation organic acids (potential monomers for application in biopolymers). *Biomass and Bioenergy*. *149*: 106092. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106092

Molina, A., & Flórez-Castillo, J. M. (2020, agosto 5). Biopolímeros como sistemas de bioencapsulación. *Prospectiva*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19521.17767/1

Mostafavi, F. S., & Zaeim, D. (2020). Agar-based edible films for food packaging applications—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. *159*: 1165–1176. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.123

Mujtaba, M., Lipponen, J., Ojanen, M., Puttonen, S., & Vaittinen, H. (2022). Trends and challenges in the development of bio-based barrier coating materials for paper/cardboard food packaging; a review. *Science of The Total Environment*. *851*: 158328. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158328

ONU programa para el medio ambiente. (2021, octubre 21). *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*. UN Environment. http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos

Ospina, S. (2015). Biopolímeros y su aplicación en medio ambiente. *Revista Colombiana de Biotecnología*.*17*(2): Art. 2. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54295

Oyekanmi, A. A., Abdul Khalil, H. P. S., Rahman, A. A., Mistar, E. M., Olaiya, N. G., Alfatah, T., Yahya, E. B., Mariana, M., Hazwan, C. M., & Abdullah, C. K. (2021). Extracted supercritical CO2 cinnamon oil functional properties enhancement in cellulose nanofibre reinforced Euchema cottoni biopolymer films. *Journal of Materials Research and Technology*. *15*: 4293–4308. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.10.025

Plackett, D. (Ed.). (2011). Front Matter. En *Biopolymers – New Materials for Sustainable Films and Coatings* (1a ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119994312.fmatter

Priyadarshi, R., & Rhim, J.-W. (2020). Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. *62*: 102346. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102346

Ranganathan, S., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Utilization of food waste streams for the production of biopolymers. *Heliyon*. *6*(9): e04891. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04891

Ríos, Á. D., López, C. Á., Riaño, L. J. C., & Osorio, A. R. (2017). *Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos*. *15*(1).

Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science*.*4*: 503–520. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.005

Sid, S., Mor, R. S., Kishore, A., & Sharanagat, V. S. (2021). Bio-sourced polymers as alternatives to conventional food packaging materials: A review. *Trends in Food Science & Technology*.*115*: 87–104. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.026

Silva, L. A., Sinnecker, P., Cavalari, A. A., Sato, A. C. K., & Perrechil, F. A. (2022). Extraction of chia seed mucilage: Effect of ultrasound application. *Food Chemistry Advances*. *1*: 100024. https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100024

Tarique, J., Sapuan, S. M., Khalina, A., Sherwani, S. F. K., Yusuf, J., & Ilyas, R. A. (2021). Recent developments in sustainable arrowroot (Maranta arundinacea Linn) starch biopolymers, fibres, biopolymer composites and their potential industrial applications: A review. *Journal of Materials Research and Technology*. *13*: 1191–1219. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.047

Valero-Valdivieso, M. F., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). *BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS*. 10.

Wilbon, P. A., Chu, F., & Tang, C. (2013). Progress in Renewable Polymers from Natural Terpenes, Terpenoids, and Rosin. *Macromolecular Rapid Communications*. *34*(1): 8–37. https://doi.org/10.1002/marc.201200513

Yuvaraj, D., Iyyappan, J., Gnanasekaran, R., Ishwarya, G., Harshini, R. P., Dhithya, V., Chandran, M., Kanishka, V., & Gomathi, K. (2021). Advances in bio food

CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023
Recepción de artículo 28 de noviembre de 2022
Artículo aceptado 18 de enero de 2023
ISSN: 2683-1848

packaging – An overview. *Heliyon.7*(9): e07998. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07998

ZSCHIMMER & SCHWARZ ESPAÑA. (2022, abril 6). *¿Qué son los biopolímeros y para qué se utilizan en la industria?* ZS España. https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-son-los-biopolimeros/