

Biopolímeros como empaques alternativos de alimentos. Una revisión

Leonardo G. Martínez-Estrada ¹, Oscar Gómez-Guzmán ¹, Cynthia Graciela Flores-Hernández ^{1,*}, Ana L. Martínez-Hernández ¹, Verónica Saucedo-Rivalcoba ²

¹ Tecnológico Nacional de México / Campus Querétaro, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ingeniería, Querétaro, México.

² Tecnológico Nacional de México/ Campus Tierra Blanca, Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: cynthiagraciela84@gmail.com

Artículo de divulgación científica

Recibido: 27 de febrero de 2025

Aceptado: 20 de marzo de 2025

Publicado: 28 de marzo de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.395>

Resumen: La contaminación ambiental por plásticos derivados de los desechos del envasado de alimentos y que terminan en vertederos y ecosistemas, alterando la cadena trófica, ha sido un tema muy preocupante ante una actual sociedad sin cultura de reciclaje, inmersa en el consumismo sin una economía circular. El empaque de alimentos es el principal generador de residuos plásticos a nivel mundial. Ante esta situación, los investigadores se han centrado en el desarrollo de empaques de alimentos a base de materiales de origen natural, que cumplan o inclusive superen las demandas de los plásticos convencionales derivados del petróleo. En este artículo, se hace una exploración de algunos biopolímeros sobresalientes utilizados en la síntesis de empaques alternativos de alimentos y propiedades de barrera de importancia. También se exploran compósitos desarrollados a partir de matrices biopoliméricas y que alimentos pueden ser protegidos por ellos.

Palabras clave: Biopolímeros, empaques de alimentos, materiales compuestos, pectina, vida de anaquel de los alimentos.

Introducción

En la actualidad es común encontrar materiales sintéticos en la fabricación de empaques de alimentos. Lo anterior representa un daño ambiental y a la salud por las condiciones últimas que puede tener el alimento o las partículas que ingresan al cuerpo humano después de su embalaje, disposición y consumo. Se estima que en EE. UU. se desperdician anualmente alrededor de 32 millones de toneladas de plástico, y solo el 3% de ellas puede reciclarse (Huang *et al.*, 2021). También Xie *et al.*, (2023) señalan que hasta la fecha se generan en todo el mundo alrededor de 7 mil millones de toneladas de residuos plásticos de un solo uso.

En una sociedad con poca cultura de economía circular, la población realiza compras desmedidas, generando gran cantidad de residuos. Por lo tanto, al no ser biodegradables, se acumulan en los ecosistemas, provocando la muerte de seres vivos o generando gases de efecto invernadero; desde su fabricación y hasta su eliminación. Esto representa un foco de alerta, debido a los cambios climáticos que estamos atravesando actualmente a nivel mundial; como, por ejemplo, las altas temperaturas en todo el país.

El mundo científico ha puesto interés en años recientes en desarrollar empaques de alimentos a partir de materiales biobasados, como los biopolímeros. Los cuales ofrecen propiedades mecánicas iguales o superiores y de barrera comparadas a las de materiales poliméricos sintéticos. En 2017, la producción de bioplásticos alcanzó los 2.06 millones de toneladas y se preveía que aumentaría a más de 7.5 millones de toneladas en 2026, es decir un incremento de 264 %. Por otro lado, algunos países (como se muestra en la Figura 1) como Estados Unidos, Japón, Italia, México y Corea del Sur han desarrollado bioplásticos comerciales para empaques de alimentos. Además, para promover aún más el desarrollo de los bioplásticos, estos países han lanzado programas para limitar el uso de plásticos convencionales de un solo uso (Siddiqui *et al.*, 2024).

Debido a la importancia de cuidar el medio ambiente y la preservación de alimentos, su repercusión económica y su relación con la ciencia e ingeniería de materiales, este artículo tiene como objetivo mostrar un panorama de las recientes investigaciones que se han realizado sobre los biopolímeros y biocompositos como posibles alternativas de los empaques convencionales de alimentos.

Desarrollo

Biopolímeros

En la revisión publicada por Kumar *et al.*, (2022b) se indica que los biopolímeros, también llamados compuestos bioderivados, se pueden obtener física o químicamente a partir de medios naturales y son biodegradables por actividad polimerasa, lo que los hace amigables con el medio ambiente.

Un polímero natural se considera biodegradable si se desintegra en seis meses sin componentes nocivos para el medio ambiente, esta degradación se debe a factores ambientales como pH, temperatura, presión y humedad presente (Kumar *et al.*, 2022b).

Bhaskar (2023) clasifica a los biopolímeros en tres categorías:

- Obtenidos del ambiente o la biomasa
 - Polisacáridos: almidón, celulosa, gomas, alginatos, pectinas, quitina, quitosano
 - Proteínas: proteínas de plantas (gluten, sojas), proteínas de origen animal (sueros, queratina)
 - Lípidos: aceites y ceras
- A partir de la síntesis de monómeros bioderivados
 - Ácido poliláctico y otros poliésteres
- Producidos directamente por microorganismos
 - Polihidroxialcanoato, polihidroxibutirato, poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato)

En los últimos años, los científicos se han interesado cada vez más en desarrollar compuestos de materiales renovables y biodegradables útiles en la fabricación de artículos sostenibles como en el caso de empaque de alimentos. Además, se han empleado en muchas aplicaciones medicinales, incluidos fármacos, andamios para la regeneración de tejidos, sistemas de administración de fármacos y agentes de formación de imágenes (Kumar *et al.*, 2022b).

Respecto al área de empaque de alimentos Kumar *et al.* (2022b) señala que los materiales biodegradables se han estudiado exhaustivamente para el empaque de alimentos en los últimos 20 años. Por lo tanto, se han desarrollado varios tipos de películas para envases utilizando polímeros biodegradables, como películas comestibles, empaques inteligentes y activos, empaques atmosféricos modificados, películas biodegradables, empaques antimicrobianos, etc. Las propiedades físicas como resistencia a la intemperie, permeabilidad del agua y las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión son factores cruciales en estas películas. En la Tabla 1 se indican algunas propiedades mecánicas y de barrera de biopolímeros utilizados en empaques de alimentos.

Tabla 1. Propiedades mecánicas y de barrera de los biopolímeros más utilizados en películas para empaques de alimentos.

Biopolímero	Resistencia a la tensión (MPa)	Permeabilidad al vapor de agua	Resistencia a la radiación UV o intemperie	Referencia
Pectina	3.78-14.78*	Baja	----	Asfaw <i>et al.</i> 2023.
Quitosano	0.72	Alta	Buena	Hisham <i>et al.</i> 2024.
Celulosa	≈ 20 – 120	25%**	Buena	Romainor <i>et al.</i> 2014. Gao <i>et al.</i> 2018.
Almidón	49.8 ± 2.15%	Alta	----	Lara-Gómez <i>et al.</i> 2022.
Almidón de trigo	Frágil***	Alta	Buena	Kumar <i>et al.</i> 2022a.

*A medida que aumenta la cantidad de pectina

** Si las películas se dopan con nanopartículas de quitosano

*** Fuertemente afectadas por el pH y la concentración de gluten

Los biopolímeros más utilizados en empaques de alimentos son a base de proteínas y polisacáridos ya que no son tóxicos y algunos de ellos tienen propiedades antimicrobianas y antifúngicas. En esta sección, se describe a los polisacáridos y específicamente a la pectina como un ejemplo muy común reportado en las investigaciones para esta aplicación.

Empaques de alimentos

Según Kumar *et al.* (2022a) el envasado de alimentos es una de las operaciones después de la cosecha u obtención más críticas para la conservación de los alimentos y prolongar su vida útil. A lo largo de los años, los investigadores han trabajado en el desarrollo de diferentes tipos de láminas y cubiertas para evitar que los alimentos entren en proceso de descomposición. Hay una amplia variedad de materiales de empaque, como botellas y frascos de vidrio, que a menudo se usan para empacar líquidos como jugos, salsas y productos encurtidos, mientras que las latas y latas de metal se usan comúnmente para empacar productos como sopas, verduras y frutas (Bhaskar, 2023).

El plástico se ha utilizado para empacar una amplia gama de productos alimenticios, ya que es de bajo costo, mecánicamente resistente, fácil de moldear y ligero, pero son una espada de doble filo, ya que generan efectos adversos en el ambiente, porque pueden tardar cientos de años en degradarse y su eliminación por incineración genera gases tóxicos que representan un peligro para la flora y fauna de los ecosistemas.

La producción de plástico en el mundo ha alcanzado hasta 380 millones de toneladas y ha mostrado un fuerte aumento en las últimas décadas, donde el 40% del plástico producido se utiliza en aplicaciones de empaque (Kumar *et al.*, 2022a; Groh *et al.*, 2019).

Kumar *et al.* (2022a) afirman que en las últimas décadas los consumidores son más conscientes del impacto del plástico al ambiente. Por lo tanto, es crucial una demanda de materiales de empaque alternativos que garanticen una mayor vida útil con buena calidad y un menor impacto en el medio ambiente. Los empaques comestibles a partir de películas de polímeros de origen natural se han utilizado para mejorar la apariencia y conservación de los alimentos, y han llamado la atención de la industria alimentaria como una alternativa para sustituir los empaques tradicionales.

Los biopolímeros se han convertido en nuevos candidatos para el empaque de alimentos, ya que son renovables y abundantes en la naturaleza. Los empaques sintetizados con este tipo de materiales ayudan a reducir la huella de carbono y crear una cultura de reciclaje. En la Tabla 2 se muestran los biopolímeros más utilizados y el tipo de alimento que puede ser empacado.

Materiales compuestos utilizados en empaques de alimentos

El futuro del empaque de alimentos, según los expertos, será la próxima generación de envases inteligentes. Como resultado, recientemente se han desarrollado materiales para envasado a base de óxidos metálicos y biopolímeros (Perera *et al.*, 2023). En la Tabla 3 muestra el tipo de refuerzo que se le incorpora a los biopolímeros para tener una determinada aplicación en los empaques de alimentos.

Nuevas tendencias

La industria de los empaques de alimentos se encuentra en constante evolución presionada a innovar y ofrecer soluciones más eficientes en los materiales de empaque. Debido a que al actuar como una barrera crucial contra los factores externos y la contaminación microbiana garantizan la entrega segura y confiable de los consumibles a los

Tabla 2. Alimentos que pueden ser empacados con los principales biopolímeros utilizados para fabricar películas para empaques de alimentos.

Biopolímero	Tipo de alimento	Referencia
Quitosano	Frutas, carnes y pescado	Kumar <i>et al.</i> 2020
Almidón	Secos (pastas y arroz)	Lara-Gómez <i>et al.</i> 2022
Celulosa	Confitería (caramelos mazapanes)	Kumar <i>et al.</i> 2022 ^a
Pectina	Películas y recubrimientos comestibles para frutas y verduras frescas	Singhal <i>et al.</i> 2022

consumidores. En consecuencia, la industria de alimentos procesados pone un énfasis significativo en el desarrollo de materiales de empaque con características deseables como: una estética atractiva, propiedades higiénicas, durabilidad y amigables al medio ambiente (Hussain *et al.*, 2024).

Tabla 3. Tipos de refuerzos adicionados a los biopolímeros más usados en empaques de alimentos y su aplicación en alimento.

Biopolímero	Tipo de refuerzo	Aplicación en alimento	Referencia
Quitosano	Óxido de titanio Gelatina	Uvas rojas y tomate Pimientos rojos	Kumar <i>et al.</i> 2020 Kumar <i>et al.</i> 2022a.
Almidón	Tapioca Almidón de camote	Calabaza Camarón	Kumar <i>et al.</i> 2022a.
Celulosa	Nanopartículas de quitosano	-----	Romainor <i>et al.</i> 2014.
Pectina	Óxido de Zinc Proteína de suero Nanopartículas de óxido de silicio	Papas, zanahorias, manzanas -----	Asfaw <i>et al.</i> 2023. Kumar <i>et al.</i> 2022a. Xie <i>et al.</i> 2023.

Los avances recientes no sólo se han centrado en empaques inteligentes para alimentos, sino también en el tratamiento de liberación de fármacos y la síntesis de apósticos para tratamiento de heridas (Dirpan *et al.*, 2023). La Figura 1 muestra un panorama de los últimos 25 años del interés científico sobre los biopolímeros destinados a la industria alimentaria. Además, Hussain *et al.* (2024) señala que las evaluaciones de sostenibilidad deben adoptar una perspectiva holística, teniendo en cuenta toda la cadena de suministro desde la producción hasta el consumo. Se debe garantizar que los factores ambientales, sociales y económicos se consideren de manera integral reconociendo el riesgo de lavado de imagen verde, debe haber un compromiso en la transparencia en nuestras evaluaciones, evitando la promoción de prácticas insostenibles bajo el disfraz de la sostenibilidad.

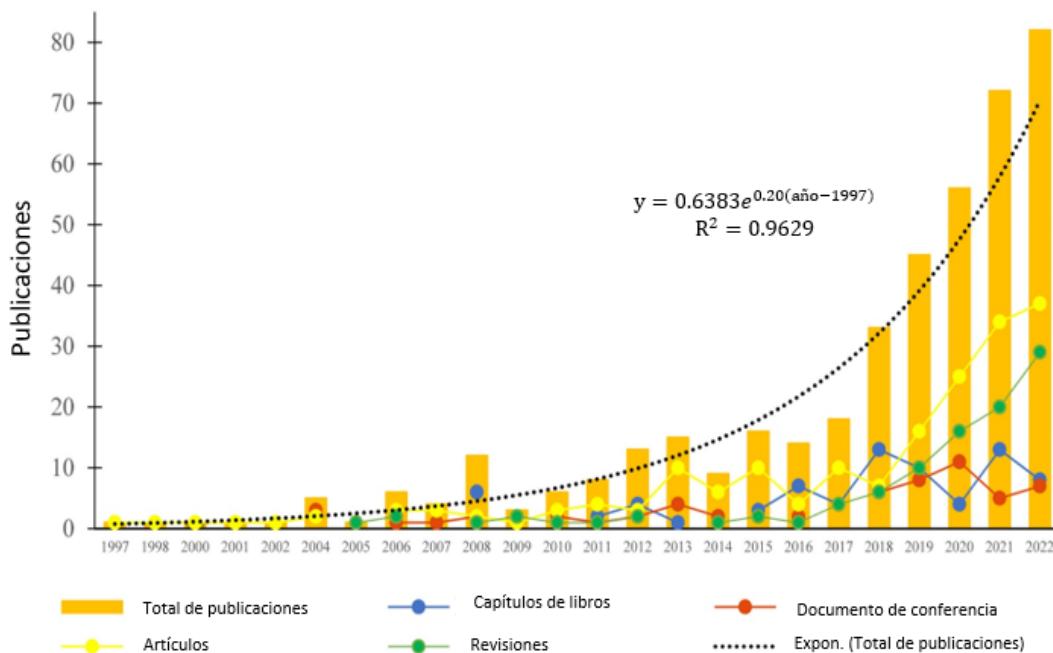


Figura 1. Número de citaciones, publicaciones e investigaciones en empaques biodegradables para alimentos.

Conclusiones

El empaque convencional de alimentos a base de materiales biobasados sigue siendo un desafío para el mundo científico, los retos consisten en llevarlo a una escala industrial o semiindustrial y buscar que tengan las mismas características o incluso superiores que demandan los empaques tradicionales a base de combustibles fósiles. Las nuevas tecnologías y las propiedades de los materiales naturales permiten a los investigadores ser cada vez más minuciosos para buscar eco-empaques que prolonguen la vida útil de los alimentos. El uso de biopolímeros tiene una tendencia cada vez más creciente para los últimos años, donde su uso ya no se enfoca únicamente en empaques de alimentos, sino que se extiende a la síntesis de apóritos para heridas, recubrimientos comestibles, liberación de fármacos y productos nutraceuticos. Por lo cual, la presente revisión es parte de las nuevas tendencias en las que se busca utilizar los biopolímeros como alternativa de economía circular sin alterar los ecosistemas y reducir la contaminación ambiental siendo una oportunidad de poder salvaguardar los recursos naturales para las futuras generaciones y reducir los gases de efecto invernadero.

Bibliografía

- Asfaw, W., Tafa, K., & Satheesh, N. (2023). Optimization of citron peel pectin and glycerol concentration in the production of edible film using response surface methodology. *Heliyon*, 9, e13724. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13724>
- Bhaskar, R. e. (2023). Recent development of protein-based biopolymers in food packaging applications: A review. *Polymer testing*, 124, 108097. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108097>
- Dirpan, A., Ainani, A. F., & Djalal, M. (2023). A Review on Biopolymer-Based Biodegradable Film for Food Packaging: Trends over the Last Decade and Future Research. *Polymers*, 15(13), 2781. <https://doi.org/10.3390/polym15132781>
- Gao, H., Rao, J., Guan, Y., Li, W. Q., Zhang, M. C., Shu, T., & Lv, Z. W. (2018). Investigation of the Thermo-Mechanical Properties of Blend Films Based on Hemicelluloses and Cellulose. *International Journal of Polymer Science*, 2018(1), 9620346. <https://doi.org/10.1155/2018/9620346>
- Groh, K. J., Backhaus, T., Carney-Almroth, B., Geueke, B., Inostroza, P. A., Lennquist, A., Leslie, H. A., Maffini, M., Slunge, D., Trasande, L., Warhurst, A. M., Muncke, J. (2019). Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of the total environment*, 651, 3253-3268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015>
- Gupta, R. K., Guha, P., & Srivastav, P. P. (2022). Natural polymers in bio-degradable/edible film: A review on environmental concerns, cold plasma technology and nanotechnology application on food packaging-A recent trends. *Food Chemistry Advances*, 1, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100135>
- Hisham, F., Akmal, M. M., Ahmad, F., Ahmad, K., & Samat, N. (2024). Biopolymer chitosan: Potential sources, extraction methods, and emerging applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102424. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102424>
- Huang, J., Hu, Z., Hu, L., Li, G., Yao, Q., & Hu, Y. (2021). Pectin-based active packaging: A critical review on preparation, physical properties and novel application in food preservation. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.026>
- Hussain, S., Akhter, R., & Maktedar, S. S. (2024). Advancements in sustainable food packaging: from eco-friendly materials to innovative technologies. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1297-1364. <https://doi.org/10.1039/d4fb00084f>
- Kumar, A., Hasan, M., Mangaraj, S., Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2022a). Trends in edible packaging films and its prospective future in food: a review. *Applied Food Research*, 2(1), 100118. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100118>
- Kumar, S., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2020). Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 196-209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>
- Lara-Gómez, A. B., Aguirre-Loredo, R. Y., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., Hernández-Juárez, M., & Gómez-Aldapa, C. A. (2022). Películas de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.), empaques innovadores para alimentos: una revisión. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(19), 11-22. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.8965>
- Perera, K. Y., Pradhan, D., Rafferty, A., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2023). A comprehensive review on metal oxide-nanocellulose composites in sustainable active and intelligent food packaging. *Food Chemistry Advances*, 3, 100436. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100436>
- Romainor, A. N. B., Chin, S. F., Pang, S. C., & Bilung, L. M. (2014). Preparation and characterization of chitosan nanoparticles-doped cellulose films with antimicrobial property. *Journal of Nanomaterials*, 2014(1), 710459. <https://doi.org/10.1155/2014/710459>
- Siddiqui, S. A., Yang, X., Deshmukh, R. K., Gaikwad, K. K., Bahmid, N. A., & Munoz, R. C. (2024). Recent advances in reinforced bioplastics for food packaging—A critical review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 130399. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130399>
- Singhal, S., & Hulle, N. R. S. (2022). Citrus pectins: Structural properties, extraction methods, modifications and applications in food systems—A review. *Applied food research*, 2(2), 100215. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100215>
- Xie, J., Zhang, Y., Klomklao, S., & Simpson, B. K. (2023). Pectin from plantain peels: Green recovery for transformation into reinforced packaging films. *Waste Management*, 161, 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.035>