

Bioplastic Packaging: A systematic review on its sustainable performance and applications

Llatas-Hernández Karen Melany¹, Silva-Izquierdo Jennifer Lizeth², Campos- Vasquez Nilson Deonil³, Ninaquispe-Zare Viviano Paulino⁴, Murga-Gonzales Iselly Joseline⁵, Maza-Chumpitaz Angela Giovana⁶,
^{1,2,3,4}Universidad Nacional de Trujillo, Perú, kllatas@unitru.edu.pe, jsilvai@unitru.edu.pe, vninaquispe@unitru.edu.pe
^{5,6}Universidad Privada del Norte, Perú, iselli.murga@upn.edu.pe, angela.maza@upn.edu.pe

Abstract– The objective of the scientific article was to investigate the different types of bioplastic packaging and their physical and chemical properties, to evaluate the performance of bioplastic packaging in terms of resistance, barrier and shelf life and to identify the sustainable applications of bioplastic packaging in different industries and its impact on the reduction of plastic waste. This research was conducted using bibliographic searches of scientific articles, according to a systematic literature review methodology, considering Scopus and Scielo databases and as a tactic, search equations. The results collected through the methods used show that 31 varied articles were collected according to the database and from different languages used for the collection of information, in which the types of bioplastic packaging, their performance and applications were evidenced. It is concluded that bioplastic packaging, made mainly from corn, potato and sugarcane starch, shows promise as a solution to address the environmental problems associated with conventional plastics. Although they exhibit variations in strength and properties, they are generally durable and tough. Their potential application in various industries, such as food, cosmetics, textiles, beverages and agriculture, offers an important avenue for reducing plastic waste. The mass adoption of these containers is seen as an essential step in moving towards sustainable practices, reducing dependence on petroleum-based plastics and promoting a more environmentally friendly future.

Keywords-- Bioplastic packaging, applications, impacts, types, properties, shelf life..

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Envases Bioplásticos: Una revisión sistemática sobre su desempeño y aplicaciones sostenibles

Llatas-Hernández Karen Melany¹, Silva-Izquierdo Jennifer Lizeth², Campos- Vasquez Nilson Deonil³, Ninaquispe-Zare Viviano Paulino⁴, Murga-Gonzales Iselly Joseline⁵, Maza-Chumpitaz Angela Giovana⁶,
^{1,2,3,4}Universidad Nacional de Trujillo, Perú, kllatas@unitru.edu.pe, jsilvai@unitru.edu.pe, vninaquispe@unitru.edu.pe
^{5,6}Universidad Privada del Norte, Perú, iselli.murga@upn.edu.pe, angela.maza@upn.edu.pe

Resumen- El objetivo del artículo científico fue investigar los diferentes tipos de envases bioplásticos y sus propiedades físicas y químicas, evaluar el desempeño de los envases bioplásticos en términos de resistencia, barrera y vida útil e identificar las aplicaciones sostenibles de los envases bioplásticos en diferentes industrias y su impacto en la reducción de residuos plásticos. Esta investigación se realizó utilizando búsquedas bibliográficas de artículos científicos, de acuerdo a una metodología de revisión sistemática de la literatura, considerando bases de datos Scopus y Scielo y como táctica, ecuaciones de búsqueda. Los resultados recopilados a través de los métodos utilizados muestra que se recolectaron 31 artículos variados según base de datos y de diferentes idiomas utilizados para la recolección de información, en los que se evidencio los tipos de envases bioplásticos, su desempeño y las aplicaciones. Se concluye que los envases bioplásticos, fabricados principalmente con almidón de maíz, papa y caña de azúcar, muestran ser una solución prometedora para abordar los problemas ambientales vinculados a los plásticos convencionales. Aunque presentan variaciones en resistencia y propiedades, en general son duraderos y resistentes. Su aplicación potencial en diversas industrias, como alimentaria, cosmética, textil, bebidas y agricultura, ofrece una vía importante para reducir los residuos plásticos. La adopción masiva de estos envases se plantea como una medida esencial para avanzar hacia prácticas sostenibles, disminuyendo la dependencia de plásticos derivados del petróleo y promoviendo un futuro más respetuoso con el medio ambiente.

Palabras claves: Envases bioplásticos, aplicaciones, Impactos, tipos, Propiedades, Vida útil.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido una creciente preocupación por los impactos ambientales negativos asociados con los plásticos convencionales debido a su lenta degradación, pérdida de biodiversidad, acumulación en los océanos y la amenaza a la salud humana, lo que pone de relieve la necesidad de materiales de envases fácilmente degradables [1, 2]. Ante esta realidad problemática, los envases bioplásticos han surgido como una posible solución para abordar los desafíos ambientales que enfrentan los plásticos convencionales. Los bioplásticos que se fabrican a partir de recursos renovables, como almidón de maíz, papa, caña de azúcar, biomásas ricas en pectina, celulosa como corteza de piña y corteza de melón y otros materiales biológicos, prometen ser biodegradables y menos perjudiciales para el medio ambiente [3].

Los envases bioplásticos son materiales poliméricos muy populares debido a su carácter no tóxico y ecológico [4].

Además de ser respetuosos con el medio ambiente, han demostrado tener un desempeño similar e incluso superior en comparación con los plásticos convencionales [5]. Esto significa que no solo son una opción sostenible, sino que también cumplen con los estándares de rendimiento necesarios en diversas aplicaciones [6].

Según un estudio publicado en Scielo, los envases bioplásticos a base de almidón, aloe de vera mostraron una resistencia mecánica comparable a los plásticos convencionales; dado que los materiales con baja permeabilidad al vapor de agua son necesarios en la industria del envasado para garantizar la conservación de los productos envasados y son una alternativa a los plásticos convencionales, [7].

En términos de sostenibilidad ambiental entre los envases de alimentos de plástico de origen fósil, no biodegradables y alternativos, no solo se debe considerar la producción, sino también la conservación de los alimentos y el destino al final de la vida útil (EoL) [8], al mismo tiempo el uso de envases bioplásticos puede contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental [9]. Por otro lado, los envases bioplásticos no biodegradables, aunque no se descomponen de manera natural, se producen a partir de fuentes renovables y, en muchos casos, generan menos emisiones de carbono durante su producción en comparación con los plásticos convencionales [10].

En este estudio, se pretende dar respuesta fundamentada y con evidencia científica a la interrogante *¿Cuál es el desempeño de los envases bioplásticos en comparación con los plásticos convencionales y cómo pueden contribuir a la sostenibilidad ambiental?* El presente artículo tiene como objetivos Investigar los diferentes tipos de envases bioplásticos y sus propiedades físicas y químicas, evaluar el desempeño de los envases bioplásticos en términos de resistencia, barrera y vida útil e identificar las aplicaciones sostenibles de los envases bioplásticos en diferentes industrias y su impacto en la reducción de residuos plásticos.

II. METODOLOGÍA

El presente artículo científico se desarrolló con el propósito de realizar una investigación acerca de los distintos tipos de envases bioplásticos, analizando sus propiedades, desempeño, aplicaciones y su impacto en la disminución de residuos plásticos [11, 12]. Para ello, se realizaron exhaustivas

búsquedas bibliográficas de artículos científicos con el fin de recopilar información pertinente y abordar la pregunta de investigación. Sin embargo, cabe mencionar que se limitó la revisión a documentos indexados en Scopus y Scielo, con una antigüedad de no más de 5 años, para garantizar la inclusión de investigaciones recientes [13].

Tabla 1. CUADRO SECUENCIAL DEL PROCEDIMIENTO DEL ARTÍCULO

Secuencia	Procedimiento
1	Se llevó a cabo la búsqueda de artículos científicos en las bases de datos de Scopus y Scielo.
2	En la segunda etapa se consideró los siguientes aspectos: <ul style="list-style-type: none"> - Artículos pertinentes al tema de investigación. - Artículos científicos publicados en las bases de datos antes mencionadas. - Artículos científicos a nivel nacional e internacional. - Artículos con una antigüedad no superior a 5 años. - Artículos publicados en idioma inglés.
3	Se analizó el contenido de los artículos seleccionados y se obtuvieron conclusiones relevantes respecto al tema de interés.

Tabla 2. ECUACIONES DE BÚSQUEDA Y BASE DE DATOS

Ítem	Ecuación de búsqueda	Base de Datos
1	“Bioplastic” AND “Packaging”	Scopus Inglés
2	“bioplasticA” ND “packaging” AND “reduction” AND of AND “greenhouse” AND “gas” AND “emissions”	
3	“bioplastic” AND “packaging” AND “terms” AND “barrier”	
4	bioplastic AND packaging AND performance	
5	bioplastic AND packaging AND PHA	
6	bioplastic AND packaging AND PLA	
7	bioplastic AND packaging AND PEF	
8	bioplastic AND packaging AND Polyethylene	
9	bioplastic AND packaging AND TPS	
10	bioplastic AND packaging AND PHBV	
11	bioplastic AND packaging AND applications	
12	“Bioplastic” AND “Packaging”	Scielo Inglés
13	"Starch-based" AND “bioplastic” AND “packaging”	
14	“Envases” AND “bioplasticos”	Scielo Español

Se considera que las revisiones sistemáticas, constituyen una forma de investigación que recopila y presenta resúmenes acerca de un tema particular con el propósito de abordar una pregunta de investigación, debiendo realizarse conforme a un plan preestablecido.

Después del proceso de selección, se eligieron los textos que presentaban aportes significativos para la investigación, logrando una amplia cobertura de trabajos relevantes e importantes.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Durante el proceso de investigación, en el cual se aplicó la metodología de búsquedas bibliográficas exhaustivas se obtuvieron la recolección de artículos como resultado se seleccionó un total de 31 artículos de ellos que se centran en la explicación minuciosa de un concepto central sobre los envases bioplásticos [14]. Se realizaron análisis exhaustivos de estos artículos, abarcando los años comprendidos entre 2020 y 2024, respectivamente.

Se realizó búsquedas en diferentes bases de datos, como SciELO y Scopus, para encontrar los artículos científicos y obtener las investigaciones relacionadas directamente con el tema de estudio. A continuación, se puede visualizar como resultado la cantidad de artículos científicos publicados en base de datos.

Tabla 3. ARTICULOS OBTENIDOS DE BASE DE DATOS

Año	BASE DE DATOS		
	Scielo	Scopus	TOTAL
	Español	Inglés	
2020	0	2	2
2021	1	5	6
2022	0	6	6
2023	0	12	12
2024	0	5	5
TOTAL	1	30	31

Los resultados obtenidos en la investigación, determinaron que hay un mayor número de publicaciones en la base de datos de Scopus, seguido de Scielo español e inglés; se seleccionaron 31 artículos, según se muestra en la figura 1.

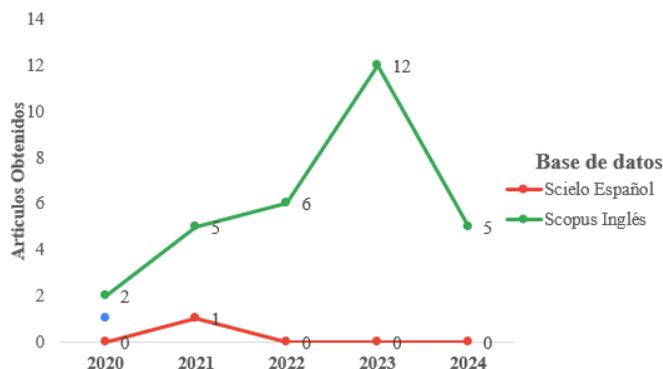


Figura 1. Artículos científicos publicados en base de datos

TABLA 4.
TIPOS DE ENVASES BIOPLASTICOS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Tipos de Bioplásticos	Origen	Propiedades Físicas	Propiedades Químicas	Autor
Polihidroxialcanoato (PHA)	Bacterias naturales	Flexible, biodegradable, resistente a grasa	Biodegradable, se descompone en ácidos grasos y otros subproductos naturales	[15, 16]
Acido polilactico(PLA)	Almidón de maíz, caña de azúcar	Compostable, resistente al aceite y transparente	Biodegradable, se degrada en condiciones compostaje, se descompone en ácido láctico y agua.	[17]
Polietileno Furanoato (PEF)	Furanos derivados de biomasa	Barrera mejorada contra oxígeno y dióxido de carbono, mayor resistencia mecánica	Biodegradable, mayor estabilidad química que el PET	[18]
Polietileno verde (PE verde)	Etanol de caña de azúcar	Similar al polietileno convencional en propiedades mecánicas	Biodegradable en condiciones específicas, renovable, reducción de emisiones de carbono	[19]
Termoplastico de almidón(TPS)	Almidón de maíz, patata y tapioca	Transparente, biodegradable y compostable	Se degrada en glucosa y otros azucares	[20]
Polihidroxibutirato-co-valerato (PHBV)	Bacterias naturales	Resistente al calor y barrera al oxígeno	Biodegradable. Se descompone en acido 3-hidroxi-valerico	[21]

El cuadro proporciona una visión general de diversos tipos de bioplásticos para envases, destacan sus orígenes sostenibles, propiedades físicas y químicas. Mientras algunos bioplásticos, como el PLA, ofrecen transparencia y resistencia a la grasa, como el almidón termoplástico, pueden ser sensibles a la humedad [22]. Estudios similares nos dicen que el PLA es una perspectiva atractiva debido a su renovabilidad, biodegradabilidad, espesor, resistente y su calidad recuperada [23]. Asimismo, los factores clave que impulsan la producción de bioplásticos como el almidón, PLA y PHA brindan ideas para una mayor producción en el mercado y a su vez estos resultan más populares dentro de la industria del envasado de alimentos [20].

La biodegradabilidad y compostabilidad son características prominentes, contribuyendo a la sostenibilidad y gestión de residuos, aún que es crucial considerar las condiciones ambientales para una descomposición efectiva [24]. Además, se destaca la posibilidad de reciclabilidad en algunos bioplásticos, como el PBAT, sugiriendo oportunidades para integrar estos materiales en sistemas de reciclaje existentes. En conjunto, estos bioplásticos ofrecen opciones innovadoras para abordar los problemas ambientales asociados con los envases plásticos convencionales, enfatizando la importancia de seleccionar el bioplástico adecuado según las necesidades específicas y las consideraciones de sostenibilidad.

TABLA 5.
CUADRO COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIOPLASTICO CON EL PLÁSTICO CONVENCIONAL

Características	Envases bioplásticos	Plásticos convencionales	Autor
Biodegradabilidad	Algunos son biodegradables, se descomponen con la acción de microorganismos.	No son biodegradables(PET, PE, PP, PS, y PVC), persisten por períodos prolongados.	[5, 1]
Compostabilidad	Algunos son compostables, se descomponen eficientemente en instalaciones de compostaje industrial.	No son naturalmente compostables, pueden causar problemas en el reciclaje.	[25]
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	Menores emisiones en la fabricación, utilizan recursos renovables.	Mayor dependencia de recursos fósiles, contribuyen a cambio climático.	[8]
Uso de Recursos Renovables	Derivados de fuentes renovables como almidón de maíz o aceites vegetales.	Mayoritariamente derivados de petróleo y gas natural.	[20]
Reciclabilidad	Varía; algunos son reciclables junto con plásticos convencionales, otros pueden tener desafíos de reciclaje.	Reciclables, pero algunos tipos pueden presentar desafíos en sistemas de reciclaje existentes.	[3]

En la Tabla 5 se resaltaron las características clave de los envases bioplásticos y plásticos convencionales, evidenciando que los bioplásticos, como PHA, PLA, PEF, PE verde, y TPS, ofrecen ventajas en biodegradabilidad, compostabilidad, emisiones de gases de efecto invernadero y uso de recursos renovables en comparación con los plásticos convencionales derivados mayoritariamente de recursos no renovables. Además, se subrayó que la reciclabilidad puede variar en ambos casos, destacando la complejidad del panorama de sostenibilidad [9]. Este análisis subraya la necesidad de considerar no solo las propiedades intrínsecas de los materiales,

sino también las prácticas de gestión de residuos y las capacidades de reciclaje locales para una evaluación integral de su impacto ambiental [10]. Estudios similares han destacado los problemas asociados con la contaminación plástica, instando a la adopción de alternativas sostenibles [26]. En contraste, han señalado la complejidad de las tasas de descomposición de los bioplásticos en diferentes entornos y han planteado interrogantes sobre su eficacia en la reducción de la contaminación [27]. Asimismo se ha destacado la importancia crítica de la infraestructura de reciclaje existente y la necesidad

de abordar los desafíos técnicos y económicos asociados con el reciclaje de bioplásticos y plásticos convencionales [20].

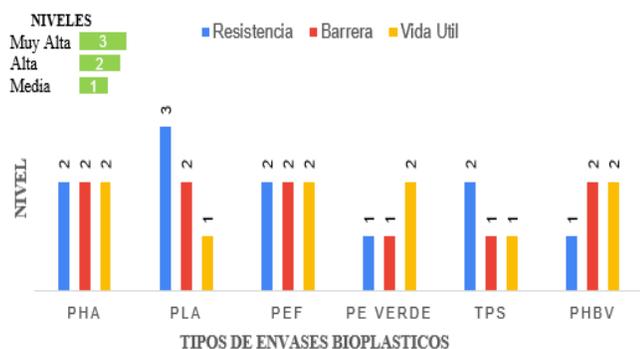


Figura 2. Evaluación del desempeño de los Envases Bioplásticos

La evaluación del desempeño de los envases bioplásticos constituye un componente esencial en la transición hacia opciones más sostenibles en el ámbito del envasado. Uno de los aspectos clave que se evalúa en estos envases es su resistencia, que se considera un indicador fundamental de durabilidad [28]. Para medir la resistencia de los bioplásticos, se emplean pruebas estandarizadas que revelan diferencias significativas entre los diversos tipos de materiales bioplásticos [29]. Algunos bioplásticos exhiben una resistencia comparable a la de los

plásticos convencionales, mientras que otros presentan características más específicas, como flexibilidad o resistencia al impacto, lo que sugiere una diversidad en sus aplicaciones potenciales [30].

Además, las propiedades barreras de los envases bioplásticos a gases, líquidos y otros agentes externos también han sido objeto de evaluación exhaustiva. Se ha observado que ciertos bioplásticos demuestran una capacidad destacable para funcionar como barreras, lo que implica que pueden proteger eficazmente el contenido del envase de la entrada o salida de sustancias no deseadas [31]. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la sensibilidad a factores como la humedad o la luz ultravioleta puede influir en el desempeño de los bioplásticos a lo largo del tiempo [32].

La vida útil de los envases bioplásticos, que abarca desde su fabricación hasta su descomposición o degradación, ha sido objeto de estudios acelerados para evaluar su comportamiento en diversas condiciones ambientales [33]. Estas evaluaciones han revelado variaciones sustanciales en la vida útil de los bioplásticos, dependiendo del tipo específico de material bioplástico y las condiciones ambientales en las que se encuentren [34]. Comprender y evaluar exhaustivamente la vida útil de los envases bioplásticos es esencial para determinar su viabilidad en comparación con las alternativas convencionales y para evaluar su capacidad para cumplir con los estándares de sostenibilidad en el sector del envasado [35].

TABLA 6. APLICACIONES SOSTENIBLES DE LOS ENVASES BIOPLÁSTICOS

Industria	Aplicación de Envases Bioplásticos	Recursos para Fabricación	Impacto de Reducción de Residuos plásticos	Autor
Alimentaria	Envases para alimentos perecederos	Almidón de maíz, caña de azúcar, alga spirulina, arcilla	Reducción de residuos plásticos en envases alimentarios y contribución a la sostenibilidad en la cadena alimentaria	[26, 36]
Cosmética	Envases para productos de belleza	Almidón de maíz, aceite vegetal, PLA	Sustitución de plásticos convencionales en envases de productos cosméticos, reduciendo la contaminación ambiental	[37]
Textil	Embalajes para prendas de vestir	Almidón de maíz, fibra de celulosa	Contribución a la sostenibilidad en la industria textil mediante el uso de materiales biodegradables	[38]
Bebidas	Botellas de bebidas	PLA, ácido poliglicólico (PGA)	Contribución a la reducción de desechos plásticos en la industria de bebidas a través de botellas compostables	[39]
Agricultura	Film agrícola para cultivos	Almidón de maíz, polímeros biodegradables	Sustitución de plásticos convencionales en la agricultura, reduciendo la contaminación en entornos agrícolas	[40, 41]

La adopción de envases bioplásticos en diversas industrias, desde la alimentaria hasta Agricultura, se destaca como un paso crucial hacia la sostenibilidad y la reducción de residuos plásticos, asimismo la utilización de recursos renovables como el almidón de maíz, caña de azúcar, y polímeros biodegradables como el PLA (Ácido Poliláctico) ha transformado la cadena de

suministro, ofreciendo soluciones sostenibles en la producción de envases para alimentos perecederos, productos cosméticos, prendas de vestir, bebidas y agricultura [42]. Sin embargo se señala que la contaminación acumulada por desechos plásticos ha contribuido al rápido desarrollo de los bioplásticos, especialmente los bioplásticos biodegradables

derivados de recursos renovables [43]. Por lo tanto este cambio hacia envases bioplásticos no solo reduce la dependencia de plásticos convencionales derivados del petróleo, sino que también aborda la problemática de la contaminación plástica al proporcionar alternativas biodegradables y compostables [44]. Aunque se enfrenta desafíos como la infraestructura de compostaje, la colaboración intersectorial y regulaciones efectivas son esenciales para maximizar el impacto positivo de estos envases en la sostenibilidad y la preservación del medio ambiente [27].

IV. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye que los envases bioplásticos representan una solución prometedora para abordar los desafíos ambientales asociados con los plásticos convencionales.

Los recursos renovables más relevantes para fabricar estos materiales fueron: Almidón de maíz, papa y caña de azúcar, los mismos que muestran ser biodegradables y menos perjudiciales para el medio ambiente.

En cuanto al desempeño de los envases bioplásticos, el PHA y PEF exhiben características superiores en resistencia, propiedades barreras y vida útil, comparables con otros bioplásticos evaluados, lo que los posiciona como opciones prometedoras para cumplir con los requisitos de sostenibilidad en el envasado. Asimismo, su potencial aplicación en industrias como la alimentaria, cosmética, textil, bebidas y agricultura ofrece una vía crucial para reducir los residuos plásticos. La adopción masiva de estos envases se presenta como una medida esencial para avanzar hacia prácticas sostenibles, disminuyendo así la dependencia de plásticos derivados del petróleo y promoviendo un futuro más respetuoso con el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] H. Jeswani, M. Perry, M. Shaver y A. Azapagic, «Biodegradable and conventional plastic packaging: Comparison of life cycle environmental impacts of poly (mandelic acid) and polystyrene,» *Science of The Total Environment*, vol. 903, n° 1, p. 12, 2023.

[2] V. Krauter, S. Krauter, S. Agriopoulou, R. Weinrich, C. Herbes, P. Scholten, I. Uysal, E. Sogut, S. Kopacic, J. Lahti, R. Rutkaite y T. Varzakas, «Bioplastics for Food Packaging: Environmental Impact, Trends and Regulatory Aspects,» *Foods*, vol. 11, n° 19, p. 3087, 2022.

[3] S. Zhang, Q. Fu, H. Li, P. Wu, G. Waterhousse y Y. Li, «A pectocellulosic bioplastic from fruit processing waste: robust, biodegradable, and recyclable,» *Chemical Engineering*, vol. 463, n° 1, p. 9, 2023.

[4] A. Jayakumar, R. Sabarish, S. Siengchin, G. H. Shin y J. Kim, «Recent progress of bioplastics in their properties, standards, certifications and regulations: A review,» *Science of The Total Environment*, vol. 878, n° 1, p. 18, 2023.

[5] T. Wang, M. Hosseinzadeh y et al, «Comparative toxicity of conventional versus compostable plastic consumer products: An in-vitro assessment,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 459, n° 1, p. 10, 2023.

[6] V. Soltes, V. Ito, B. Válio, I. Mottin, L. Pinheiro y L. Lacerda, «Biodegradable Films with the Addition of Nanofibers: a Review Focusing on Raw Materials and Analysis,» *Feed Science and Technology*, vol. 65, 2022.

[7] M. Puca, M. Aguilar, G. Canché y M. Neira, «Evaluation of thermal properties and permeability of bioplastic films based on starch, aloe vera and graphene,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 88, n° 1, pp. 63-77, 2022.

[8] L. Boone, N. Préat, T. Nhu, F. Fiordelisi, V. Guillard, M. Blanckaert y J. Dewulf, «Environmental performance of plastic food packaging: Life cycle assessment extended with costs on marine ecosystem services,» *Science of The Total Environment*, vol. 894, p. 164781, 2023.

[9] S. Anusha, A. Sundarsingh, N. Bahmid, N. Nirmal, J. Denayer y K. Karimi, «A critical review on biodegradable food packaging for meat: Materials, sustainability, regulations, and perspectives in the EU,» *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 22, pp. 4147-4185, 2023.

[10] Y. Wu, W. Ding, Y. Xueling, J. Remón, M. Xin, T. Sun, T. Wang, L. Liangli y J. Wang, «Fabrication, performance, and potential environmental impacts of polysaccharide-based food packaging materials incorporated with phytochemicals: A review,» *Biological Macromolecules*, vol. 249, 2023.

[11] F. Sernaquè, L. Huaman, H. Chipa y M. Chacon, «Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca,» *Centro Agrícola*, vol. 47, n° 4, pp. 22-31, 2020.

[12] G. Atiewesh, A. Mikhael, B. Joseph, J. Banoub y Tuyet-Anh, «Environmental impact of bioplastic use: A review,» *Heliyon*, vol. 7, n° 9, 2021.

[13] M. Jaso, «El surgimiento de los bioplásticos: Un estudio de nichos tecnológicos,» *Acta universitaria*, vol. 30, 2020.

[14] D. Stein, C. Dal Sasso y H. Lucinéia, «Ten years of visualization of business process models: A systematic literature review,» *Computer Standards & Interfaces*, vol. 66, 2019.

[15] P. Fernandez, G. Villota, I. Otero, S. Hidalgo, M. Quiroz, J. Gómez y E. Burbano, «Isolation and characterization of polyhydroxyalkanoate-producing bacteria from seawater samples (Tumaco),» *Universitas Scientiarum*, vol. 28, n° 2, pp. 141-163, 2023.

[16] N. Huamàn, E. Allecca, G. Allecca y M. Quispe, «Biopolymers produced by Azotobacter: synthesis and production, physico-mechanical properties, and potential industrial applications,» *Scientia Agropecuaria*, vol. 12, n° 3, pp. 369-377, 2021.

[17] A. Romani, L. Perusin, M. Clurnelli y M. Levi, «Characterization of PLA feedstock after multiple recycling processes for large-format material extrusion additive manufacturing,» *Materiales Hoy Sostenibilidad*, vol. 25, p. 100636, 2023.

- [18] E. Shlush y M. Davidovich, «Bioplastics for food packaging,» *Trends in Food Science & Technology*, vol. 125, pp. 66-80, 2022.
- [19] T. Petrulioniene, T. Murauskas, M. Norkus y E. Naujalis, «Emission of additives and degradation products from commercial polypropylene, polyethylene and their composite packages,» *Chemija*, vol. 34, n° 2, 2023.
- [20] R. Navasingh, M. Gurunathan, M. Nikolova y J. Królczyk, «Sustainable Bioplastics for Food Packaging Produced from Renewable Natural Sources,» *Polymers*, vol. 15, n° 18, p. 3760, 2023.
- [21] D. Phothisarattana y N. Harnkarnsujarit, «Migration, aggregations and thermal degradation behaviors of TiO₂ and ZnO incorporated PBAT/TPS nanocomposite blown films,» *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 33, p. 10901, 2022.
- [22] Y. Noorul, N. Thinakaran, P. Kaushik y F. Gomes, «Preparation and characterization of bioplastic made of polylactic acid (PLA) incorporated with tapioca starch for food packaging usage,» *Multidisciplinary Science and Advanced Technologies*, pp. 25-31, 2021.
- [23] K. Arefin, S. Muhammad, A. Ruhul, M. Asaduzzaman, N. Hossain, O. Madkhali, R. Rahman, T. MUhammad, A. Abdullah, U. Jamal y R. Mohammed, «Development and Characterization of Bioplastic Synthesized from Ginger and Green Tea for Packaging Applications,» *Journal of Composites Science*, vol. 7, n° 3, p. 107, 2023.
- [24] C. Herrmann, S. Rhein y K. Friederike, «Consumers' sustainability-related perception of and willingness-to-pay for food packaging alternatives,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 181, 2022.
- [25] F. Murillo, G. Jiménez, M. Esquivel y J. Vega, «L-poly(lactic acid (Pla) and multi-walled carbon nano-tubes (cntmw) with potential industrial applications,» *Revista Colombiana de Química*, vol. 50, n° 1, pp. 20-39, 2021.
- [26] Z. Xianhui, W. Ying, C. Xiaowen, Y. Xinbin, L. Wei y et, «Sustainable bioplastics derived from renewable natural resources for food packaging,» *Materia*, vol. 6, n° 1, pp. 97-127, 2023.
- [27] T. Anjaly, K. Vara, D. Brajesh, S. Ramkrishna y S. Ajit K., «Synthesis and commercialization of bioplastics: Organic waste as a sustainable feedstock,» *Science of The Total Environment*, vol. 904, p. 167243, 2023.
- [28] Y. Hsiung, C.-H. Liang y J.-M. Huang, «Polyhydroxyalkanoate production from food packaging waste paper,» *BioResources*, vol. 19, n° 1, 2024.
- [29] S. Taechutrakul, T. Piroonpan y W. Pasanphan, «Active film strips to extend the shelf life of fruits: Multibranched PLA-gallic acid as an antioxidant/oxygen scavenger in a case study of bananas (Musa AAA group),» *Journal of Food Engineering*, vol. 364, 2024.
- [30] C. Otálora, E. Alvarez, S. Flores, N. Gerschenson y C. Bengoechea, «Effect of plasticizer composition on the properties of injection molded cassava starch-based bioplastics,» *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 40, 2023.
- [31] J. Stanley, E. Xanthopoulou, M. Fingar, L. Zemljic, P. Klonos, A. Kyritsis, S. Koltsakidis, D. Tzetsis, D. Lambropoulou, D. Baciu, T. Steriotis y G. Charalambopoulou, «Synthesis of Poly(ethylene furanoate) Based Nanocomposites by In Situ Polymerization with Enhanced Antibacterial Properties for Food Packaging Applications,» *Polymers*, vol. 15, n° 23, 2023.
- [32] P. Raghav y K. Niranjana, «Sustainable green composite of yam and agricultural waste corn stalk fiber with good mechanical, thermal, optical, aging performance and excellent biodegradability,» *Composites Science and Technology*, vol. 244, 2023.
- [33] Dasom, L. Junhyuk, K. Sung Kyu, H. Jungi y J. Hyun Wook, «Effect of cellulose nanofiber-montmorillonite hybrid filler on the melt blending of thermoplastic starch composites,» *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 254, 2024.
- [34] K. Daekook, J. Ramasamy, V. Muregesan, K. Suviita, S. Narayanamoorthy, O. Hisam, Noreen Izza y A. Ahmadian, «A novel MCDM approach to selecting a biodegradable dynamic plastic product: a probabilistic hesitant fuzzy set-based COPRAS method,» *Journal of Environmental Management*, vol. 340, 2023.
- [35] K. Pieters y T. Mekonnen, «Stable aqueous dispersions of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) polymer for barrier paper coating,» *Chemija*, vol. 34, n° 2, 2023.
- [36] H. Liqaa, E. Sherifa, A. Abdelkareem y I. Fahim, «Fabricating Starch-Based Bioplastic Reinforced with Bagasse for Food Packaging,» *Circular Economy and Sustainability*, vol. 2, n° 3, pp. 1065-1076, 2022.
- [37] M. Dube y S. Dube, «Towards Sustainable Color Cosmetics Packaging,» *Cosmetics*, vol. 10, n° 5, p. 139, 2023.
- [38] S. Tuba, M. Ayesha, Z. Muhammad, R. Ijaz y et, «Disposable Bioplastics,» *Disposable Bioplastics*, pp. 487-517, 2022.
- [39] L. Ritzen, B. Sprecher, C. Bakker y R. Balkenende, «Bio-based plastics in a circular economy: A review of recovery pathways and implications for product design,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 199, p. 107268, 2023.
- [40] S. Bhattarai y S. Janaswamy, «Biodegradable, UV-blocking, and antioxidant films from lignocellulosic fibers of spent coffee grounds,» *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 253, p. 126798, 2023.
- [41] N. Piñeros, Y. Piñeros, Castro y R. Ortega, «Active biodegradable films based on thermoplastic starch and poly(ε-caprolactone),» *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 19, n° 3, pp. 1095-1101, 2020.
- [42] E. Shlush y M. Davidovich, «Bioplastics for food packaging,» *Trends in Food Science & Technology*, vol. 125, pp. 66-80, 2022.
- [43] «Poly(glycolic acid) (PGA): A versatile building block expanding high performance and sustainable bioplastic applications,» *Green Chemistry*, vol. 22, n° 13, pp. 4055-4081, 2020.
- [44] N. I. Ibrahim, F. Shahar, M. Hameed, U. Shah, S. Azrie y M. Yazik, «Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in Product Packaging,» *Coatings*, vol. 11, n° 11, p. 1423, 2021.