

DOI: <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v3/n3/55>

Bioempaques y materiales biodegradables en la industria alimentaria.

Biopackaging and biodegradable materials in the food industry.

Herrera-Sánchez, Daniela Jaqueline ¹.

¹ Universidad UTE; Ecuador; <https://orcid.org/0009-0005-3667-8395>; daniela.herrera@ute.edu.ec.

Cita: Herrera-Sánchez, D. J. (2026). Bioempaques y materiales biodegradables en la industria alimentaria. *Revista De Investigación Y Liderazgo*, 3(3), 50-66. <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v3/n3/55>

Resumen

La generación de residuos plásticos y las limitaciones de la gestión posconsumo intensificaron la necesidad de alternativas de envasado sostenibles para la industria alimentaria de Ecuador y Latinoamérica. El estudio tuvo como objetivo analizar el potencial de los bioempaques y materiales biodegradables, considerando sus propiedades, aplicaciones, desempeño técnico, impacto ambiental, viabilidad económica y condiciones de incorporación industrial. Se desarrolló una investigación cualitativa, documental, no experimental, transversal y exploratoria, basada en literatura científica, informes técnicos, normativa y datos sectoriales publicados entre 2020 y 2025. Los resultados mostraron un predominio de películas y recubrimientos elaborados con almidón, celulosa, quitosano, proteínas, ácido poliláctico y polihidroxialcanoatos, junto con avances en flexibilidad, barrera y biodegradación. No obstante, se identificaron costos superiores a los polímeros convencionales, sensibilidad a la humedad, restricciones de escalabilidad y limitada infraestructura de separación y tratamiento. La evidencia indicó que la sostenibilidad no depende únicamente del origen biológico del material, sino de su capacidad para conservar el alimento y ajustarse al contexto territorial. Se concluyó que su adopción requiere integrar desempeño funcional, viabilidad económica, aprovechamiento agroindustrial y gestión posconsumo, mediante una relación sistémica entre alimento, empaque y territorio (Ghasemlou et al., 2024).

Palabras clave: bioempaques; biopolímeros; biodegradabilidad; industria alimentaria; economía circular.

Abstract

The generation of plastic waste and the limitations of post-consumption management intensified the need for sustainable packaging alternatives for the food industry in Ecuador and Latin America. The study aimed to analyze the potential of bio-packaging and biodegradable materials, considering their properties, applications, technical performance, environmental impact, economic viability, and conditions for industrial incorporation. A qualitative, documentary, non-experimental, cross-sectional, and exploratory research was developed, based on scientific literature, technical reports, regulations, and sectoral data published between 2020 and 2025. The results showed a predominance of films and coatings made with starch, cellulose, chitosan, proteins, polylactic acid, and polyhydroxyalkanoates, along with advances in flexibility, barrier properties, and biodegradation. However, higher costs compared to conventional polymers, sensitivity to moisture, scalability restrictions, and limited separation and treatment infrastructure were identified. The evidence indicated that sustainability does not solely depend on the biological origin of the material, but on its ability to preserve food and adapt to the territorial context. It was concluded that its adoption requires integrating functional performance, economic viability, agro-industrial utilization, and post-consumption management, thru a systemic relationship between food, packaging, and territory (Ghasemlou et al., 2024).

Keywords: biopackaging; biopolymers; biodegradability; food industry; circular economy.

1. Introducción

La transformación de los sistemas de envasado constituye una prioridad para la ingeniería de alimentos, porque el empaque protege la inocuidad, prolonga la vida útil y facilita la distribución, pero también genera residuos de corta permanencia en uso. En 2019 se producen globalmente 353 millones de toneladas de residuos plásticos; el 40 % procede de envases y apenas el 9 % se recicla efectivamente (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2022). Esta problemática adquiere particular importancia en América Latina y en Ecuador, donde la gestión posconsumo presenta limitaciones técnicas, institucionales y territoriales. El país recolecta aproximadamente 4,98 millones de toneladas de residuos urbanos al año, de las cuales el 11,4 % corresponde a plásticos y solo el 14,8 % se recoge mediante sistemas de separación diferenciada (Lazo et al., 2024). En consecuencia, la unidad de análisis comprende películas, recubrimientos, bandejas y recipientes biodegradables aplicables a alimentos frescos y procesados en el contexto ecuatoriano.

La relevancia del problema aumenta cuando la función ambiental del empaque se relaciona con la conservación del alimento, pues una sustitución técnicamente inadecuada puede acelerar el deterioro microbiológico, oxidativo o físico. Durante 2022 se desperdician 1.050 millones de toneladas de alimentos, equivalentes a 132 kg por habitante y al 19 % de los alimentos disponibles para los consumidores; además, esta pérdida representa más de 1.000 millones de comidas diarias (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2024). El desperdicio alimentario contribuye entre el 8 % y el 10 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, por lo que reducir únicamente la masa del empaque no garantiza un balance ambiental favorable. En la industria ecuatoriana, esta tensión involucra productos perecederos, cadenas de exportación y alimentos procesados que requieren barreras específicas frente al oxígeno, la humedad y la contaminación. Por ello, no abordar simultáneamente la funcionalidad del bioempaque y su fin de vida puede trasladar el impacto desde los residuos plásticos hacia mayores pérdidas económicas, sanitarias y alimentarias (Kan & Miller, 2022).

El desarrollo tecnológico ofrece alternativas basadas en almidón, celulosa, quitosano, proteínas, ácido poliláctico y polihidroxialcanoatos, además de biocompuestos elaborados con residuos de banano, yuca, cereales y otros subproductos agroindustriales (Shaikh et al., 2021; Wang et al., 2022). La capacidad mundial de producción de bioplásticos alcanza aproximadamente 2,47 millones de toneladas en 2024 y se proyecta en 5,73 millones para 2029; el sector de envases concentra el 45 % de la capacidad actual, equivalente a 1,12 millones de toneladas (European Bioplastics, 2024). Esta expansión muestra una oportunidad para América Latina, cuya disponibilidad de biomasa permite valorizar residuos y disminuir la dependencia de materias primas fósiles. A escala regional, la fabricación experimental de láminas con cáscara de plátano demuestra que estos residuos pueden combinarse con almidón y plastificantes para producir estructuras moldeables y biodegradables (Lora et al., 2022). Sin embargo, la disponibilidad de materias primas no asegura por sí misma estabilidad, inocuidad ni competitividad industrial.

La evidencia disponible, sin embargo, no presenta resultados uniformes respecto de la superioridad ambiental y funcional de los materiales biodegradables. Los biopolímeros

hidrofílicos suelen mostrar elevada permeabilidad al vapor de agua, sensibilidad a la humedad y menor resistencia térmica, mientras que la incorporación de nanopartículas, plastificantes o agentes reticulantes puede modificar la migración química y el comportamiento de degradación (Atta et al., 2022; Negrete-Bolagay & Guerrero, 2024). Un análisis de ciclo de vida aplicado a 30 alimentos determina que el empaque plástico representa menos del 10 % de las emisiones totales en 23 productos, lo que evidencia que reemplazarlo sin preservar el alimento puede incrementar el impacto global (Kan & Miller, 2022). A ello se suma que ciertos bioplásticos presentan costos de producción hasta 10 veces superiores a los plásticos convencionales, especialmente cuando operan con volúmenes reducidos (Ghasemlou et al., 2024). Estas inconsistencias revelan que biodegradabilidad, origen biológico y sostenibilidad no son conceptos equivalentes y deben verificarse bajo condiciones reales de uso y disposición.

La brecha regional se vuelve más visible porque gran parte de la investigación se concentra en formulaciones de laboratorio y evalúa por separado resistencia mecánica, barrera, biodegradación o actividad antimicrobiana, sin integrar costos, inocuidad, aceptación del consumidor e infraestructura de tratamiento (Dirpan et al., 2023). En Ecuador, únicamente alrededor del 33 % de los gobiernos municipales aplica algún tratamiento a los residuos orgánicos y se estima que 50.000 personas participan en actividades informales de recuperación, circunstancias que condicionan el destino efectivo de los envases compostables (Lazo et al., 2024). Tampoco se dispone de suficientes comparaciones locales entre materias primas agroindustriales, condiciones climáticas, requerimientos de los alimentos y capacidad de procesamiento empresarial. En contraste, un estudio internacional con 529 consumidores registra que el 96,8 % prefiere botellas de origen biológico y acepta pagar hasta un 40 % adicional, aunque sus resultados no se generalizan automáticamente al mercado ecuatoriano (Zwicker et al., 2023). El vacío importa porque las decisiones empresariales pueden basarse en atributos ambientales percibidos y no en desempeño comprobado durante todo el ciclo de vida.

La convergencia entre presión ambiental, disponibilidad de residuos agroindustriales y necesidad de conservar alimentos justifica un análisis que combine cuatro dimensiones: desempeño técnico, inocuidad, viabilidad económica y gestión posconsumo. La disponibilidad de literatura científica publicada entre 2021 y 2025, registros oficiales, normas de contacto alimentario y datos sectoriales permite desarrollar el estudio mediante procedimientos documentales reproducibles, sin intervenir sobre personas ni utilizar información sensible (Ghasemlou et al., 2024; Negrete-Bolagay & Guerrero, 2024). El objetivo general consiste en analizar el potencial de los bioempaques y materiales biodegradables para su aplicación sostenible en la industria alimentaria de Ecuador y América Latina. De este propósito se derivan tres objetivos específicos: describir las propiedades y aplicaciones de los principales biopolímeros; comparar su desempeño técnico, ambiental y económico frente a materiales convencionales; y determinar las barreras y oportunidades que condicionan su incorporación industrial. La trazabilidad de las fuentes, la diferenciación entre datos experimentales y proyecciones comerciales, y la declaración de limitaciones fortalecen la integridad metodológica del análisis.

La contribución esperada se sitúa en la integración de variables que habitualmente se examinan de manera fragmentada, mediante una matriz comparativa que articula cinco

criterios: origen de la materia prima, propiedades de barrera, seguridad alimentaria, costo y alternativa de fin de vida. Esta perspectiva permite relacionar el 11,4 % de residuos plásticos presentes en la corriente urbana ecuatoriana con el aprovechamiento potencial de biomasa residual, sin asumir que todo material biobasado es biodegradable ni que toda biodegradación ocurre en condiciones ambientales abiertas (Lazo et al., 2024; Ghasemlou et al., 2024). La originalidad del trabajo reside en trasladar la discusión desde la sustitución aislada del plástico hacia el diseño integral alimento–empaque–territorio. De este modo, el análisis aporta criterios verificables para seleccionar materiales según el tipo de alimento, la vida útil requerida y la infraestructura disponible. La propuesta fortalece tanto la investigación en ingeniería de alimentos como la toma de decisiones empresariales y públicas orientada a una bioeconomía circular latinoamericana (Atta et al., 2022).

2. Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló mediante una orientación cualitativa, debido a que buscó interpretar críticamente las características, aplicaciones, limitaciones y posibilidades de los bioempaques en la industria alimentaria, antes que calcular efectos agregados o establecer relaciones estadísticas. La revisión se centró en comprender cómo la literatura vinculó la composición de los materiales biodegradables con su desempeño tecnológico, inocuidad, degradación y viabilidad industrial. Este abordaje permitió integrar resultados experimentales heterogéneos, marcos regulatorios y análisis técnicos desde la perspectiva de la ingeniería de alimentos. La interpretación se dirigió al cumplimiento de los objetivos de describir los materiales disponibles, comparar sus propiedades e identificar barreras para su adopción en Ecuador y Latinoamérica. La elección cualitativa resultó coherente con estudios de alcance destinados a mapear conceptos, tendencias y vacíos de conocimiento en campos emergentes (Peters et al., 2020).

La lógica del trabajo se organizó mediante un diseño no experimental y transversal, puesto que las variables relacionadas con las propiedades de los bioempaques no fueron manipuladas y la evidencia se examinó conforme se encontraba publicada hasta el cierre documental. El componente transversal representó una fotografía analítica del conocimiento disponible entre enero de 2020 y diciembre de 2025, sin efectuar seguimiento longitudinal de tecnologías, empresas o materiales específicos. La investigación fue documental porque utilizó artículos científicos, revisiones, normas, informes técnicos y disposiciones regulatorias como fuentes de información. El razonamiento deductivo orientó las categorías iniciales desde los objetivos, mientras que la inducción permitió incorporar temas emergentes identificados durante la lectura. A su vez, el procedimiento analítico descompuso la información técnica y posteriormente la integró mediante comparaciones interpretativas (Page et al., 2021; Braun & Clarke, 2021).

El alcance se estableció como exploratorio, dado que se pretendió reconocer el estado de desarrollo de un campo tecnológico todavía caracterizado por diversidad de materias primas, métodos de fabricación, condiciones de biodegradación y escalas de producción. La población documental estuvo constituida por publicaciones sobre películas, recubrimientos, bandejas, envases rígidos y otros sistemas elaborados total

o parcialmente con polímeros biodegradables o materias primas biobasadas aplicables a alimentos. La unidad de análisis correspondió a cada documento que aportó resultados técnicos, ambientales, económicos, regulatorios o de aplicación industrial verificables. Se priorizaron investigaciones realizadas en Ecuador y Latinoamérica, aunque se incorporaron estudios internacionales cuando proporcionaron parámetros comparables o tecnologías potencialmente transferibles. El marco ecuatoriano se complementó con la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, debido a su relación con la valorización de recursos y la gestión sostenible de materiales (Asamblea Nacional del Ecuador, 2021).

La búsqueda documental se efectuó en Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, SciELO y Google Scholar, con el propósito de combinar bases multidisciplinarias, literatura especializada en alimentos y producción científica latinoamericana. Se utilizaron descriptores en español e inglés, entre ellos “bioempaques”, “envases biodegradables”, “biopolímeros”, “empaque alimentario”, “biodegradable food packaging”, “bio-based packaging”, “edible films”, “active packaging” y “agro-industrial waste”. Los términos se articularon mediante los operadores booleanos AND y OR, incorporando combinaciones relacionadas con Ecuador, Latin America, food industry, barrier properties, biodegradation, safety, cost y scalability. También se realizó búsqueda retrospectiva en las referencias de los estudios seleccionados para localizar publicaciones relevantes no recuperadas inicialmente. La estrategia y el registro de las fases se organizaron de acuerdo con recomendaciones de transparencia de PRISMA 2020 y con la guía JBI para revisiones de alcance (Page et al., 2021; Peters et al., 2020).

Los criterios de inclusión consideraron documentos publicados entre 2020 y 2025, escritos en español, inglés o portugués y disponibles en texto completo, siempre que analizaran materiales biodegradables o biobasados destinados al contacto, protección o conservación de alimentos. Se admitieron estudios experimentales, revisiones científicas, análisis de ciclo de vida, investigaciones de viabilidad industrial, documentos regulatorios e informes institucionales con autoría y procedencia identificables. Se excluyeron registros duplicados, trabajos sin acceso al contenido completo, publicaciones sin aplicación alimentaria, documentos exclusivamente promocionales y estudios que emplearan el término “ecológico” sin describir la composición o el comportamiento del material. La selección se efectuó primero mediante títulos y resúmenes y, posteriormente, mediante lectura integral, registrándose los motivos de exclusión para conservar la trazabilidad. Este procedimiento evitó fijar anticipadamente una muestra estadística, porque el corpus se conformó intencionalmente con documentos pertinentes y no con participantes humanos (Page et al., 2021; Dirpan et al., 2023).

La información se extrajo mediante una matriz estructurada que incluyó autor, año, país, materia prima, tipo de polímero, proceso de obtención, alimento de aplicación, escala experimental y principal resultado. También se registraron propiedades mecánicas, térmicas y de barrera; comportamiento frente a humedad y gases; biodegradabilidad; inocuidad; actividad antioxidante o antimicrobiana; costo estimado; escalabilidad y alternativa de disposición final. El contenido se codificó y agrupó mediante análisis temático, siguiendo procesos de familiarización, generación de códigos, construcción de temas, revisión de categorías e interpretación reflexiva. Las categorías deductivas

correspondieron al desempeño tecnológico, ambiental y económico, mientras que las inductivas surgieron de patrones recurrentes, contradicciones y vacíos observados en los documentos. Finalmente, se compararon los resultados latinoamericanos con la evidencia internacional, sin convertir diferencias metodológicas en equivalencias directas (Braun & Clarke, 2021; Shaikh et al., 2021).

La consistencia del análisis se fortaleció mediante triangulación de artículos experimentales, revisiones recientes, documentos jurídicos e informes técnicos, además de la comprobación de autoría, año, revista y DOI cuando estuvo disponible. Se distinguió entre materiales biobasados, biodegradables, compostables y comestibles para evitar que términos conceptualmente diferentes fueran utilizados como sinónimos, y las conclusiones se formularon atendiendo a las condiciones declaradas en cada estudio. La heterogeneidad de formulaciones, métodos de ensayo y entornos de degradación impidió realizar metaanálisis o generalizaciones causales, por lo que los resultados se interpretaron como tendencias y oportunidades de investigación. Como el trabajo utilizó únicamente información pública y no involucró personas, muestras biológicas ni datos personales, no requirió consentimiento informado; no obstante, se respetaron la integridad de las fuentes y la atribución académica. La trazabilidad documental y la exposición de limitaciones contribuyeron al rigor y reproducibilidad del proceso (Peters et al., 2020; Ghasemlou et al., 2024).

3. Resultados

Caracterización de los bioempaques y materiales biodegradables aplicados a alimentos

El propósito de este subapartado fue caracterizar los materiales biodegradables identificados según su origen, composición y modalidad de aplicación alimentaria. La evidencia documental agrupó los materiales en polisacáridos naturales (almidón, celulosa, quitosano, pectina y alginato), proteínas como gelatina y caseína, y poliésteres biodegradables, principalmente ácido poliláctico, polihidroxialcanoatos, succinato de polibutileno y adipato-co-tereftalato de polibutileno. Los formatos registrados comprendieron películas flexibles, recubrimientos comestibles, bandejas, recipientes rígidos, espumas y estructuras multicapa. Las películas y los recubrimientos concentraron la mayor diversidad de formulaciones, debido a la incorporación de plastificantes, fibras, extractos vegetales y compuestos activos. La caracterización mostró, por tanto, un predominio de sistemas flexibles elaborados con materias primas renovables y subproductos agroalimentarios (Dirpan et al., 2023; Versino et al., 2023).

El análisis bibliométrico incorporado en la revisión confirmó la mayor presencia de materiales polisacáridicos dentro de la investigación sobre películas biodegradables. El almidón registró 56 ocurrencias entre las palabras clave analizadas, seguido de la gelatina con 32, la pectina con 8 y el alginato de sodio con 5; además, el término biopolímeros alcanzó 24 ocurrencias, mientras que polisacáridos y proteínas registraron 12 y 7, respectivamente. La categoría de envases activos presentó 53 ocurrencias, dentro de las cuales los componentes antimicrobianos aparecieron 20 veces, los antioxidantes 17 y los aceites esenciales 18. En cuanto a la caracterización funcional, las propiedades mecánicas reunieron 28 ocurrencias, las propiedades de barrera 14, la

permeabilidad al vapor de agua 11, la resistencia a la tracción 6 y la permeabilidad al oxígeno 5. Paralelamente, la actividad antioxidante y la actividad antimicrobiana registraron 23 y 15 ocurrencias, lo que evidenció la integración recurrente de funciones protectoras adicionales (Dirpan et al., 2023).

La caracterización industrial mostró que la capacidad mundial de producción de bioplásticos alcanzó 2,47 millones de toneladas en 2024, de las cuales el 56,3 % correspondió a materiales biodegradables, equivalente a aproximadamente 1,39 millones de toneladas. Dentro de esta estructura, el ácido poliláctico representó el 37,1 % de la capacidad total, los compuestos que contenían almidón alcanzaron el 5,7 %, los polihidroxialcanoatos el 4,1 % y la celulosa regenerada el 3,3 %. El segmento general de envases concentró el 45 % del mercado de bioplásticos, con aproximadamente 1,12 millones de toneladas de capacidad productiva. Los envases flexibles reunieron 694.000 toneladas, equivalentes al 61,9 % de la capacidad destinada a envases, mientras que los rígidos alcanzaron 426.700 toneladas y representaron el 38,1 %. Estos datos mostraron que la aplicación en películas, envolturas y otras estructuras flexibles mantuvo la mayor participación industrial dentro del segmento analizado (European Bioplastics, 2024).

La valorización de residuos agroindustriales apareció principalmente en formulaciones obtenidas a partir de cáscaras, fibras vegetales y residuos ricos en almidón o celulosa. En el contexto latinoamericano, se obtuvieron recipientes y láminas biodegradables de coloración marrón mediante la combinación de cáscara de plátano, almidón de maíz, glicerina y ácido acético, lo que confirmó la presencia regional de procesos basados en biomasa residual (Lora et al., 2022). En una caracterización experimental posterior, las películas elaboradas con fibra lignocelulósica de cáscara de plátano alcanzaron una resistencia a la tracción máxima de 31,3 MPa y una vida media de degradación comprendida entre 15,26 y 20,72 días. Estas películas perdieron más del 50 % de su masa durante tres semanas y superaron el 90 % de biodegradación en 30 días bajo una humedad del suelo del 21 % (Hoque & Janaswamy, 2024). En síntesis, los hallazgos caracterizaron un conjunto dominado por películas polisacáridicas y biocompuestos agroindustriales, acompañado por el liderazgo productivo del ácido poliláctico y la creciente incorporación de propiedades activas (Dirpan et al., 2023; Hoque & Janaswamy, 2024).

Desempeño técnico, ambiental y económico de los materiales biodegradables

El análisis tuvo como propósito describir el comportamiento funcional, el impacto ambiental y las condiciones económicas reportadas para los materiales biodegradables empleados en envases alimentarios. Los resultados mostraron variaciones asociadas con la composición polimérica, la proporción de aditivos y las condiciones de ensayo, sin que se identificara un desempeño uniforme para todas las formulaciones. En los sistemas de ácido poliláctico y policaprolactona, el PLA registró una resistencia a la tracción de 60 MPa, mientras que la PCL alcanzó 14 MPa. La incorporación de 15 % y 30 % de PCL redujo la resistencia del PLA en 7,3 y 17,7 MPa, respectivamente, aunque incrementó la elongación a la rotura aproximadamente en 60 %. En materiales de PHBV, la adición de 0,04 % en peso de nanopartículas de plata disminuyó en 56 % la permeabilidad al oxígeno frente a la matriz sin modificar (Moraczewski et al., 2025; Atarés et al., 2024).

La integración de los indicadores permitió identificar que las mejoras en flexibilidad, barrera o biodegradación estuvieron acompañadas por modificaciones en la resistencia mecánica, los costos de producción o las exigencias de procesamiento. Como se observa en la Tabla 1, los resultados técnicos correspondieron a formulaciones y métodos experimentales específicos, mientras que los indicadores ambientales y económicos procedieron de evaluaciones de ciclo de vida, estimaciones productivas y datos sectoriales. Por esta razón, no se calcularon medias generales, desviaciones estándar combinadas, intervalos de confianza ni valores p entre materiales, debido a que las unidades funcionales, espesores, temperaturas y condiciones de humedad no fueron equivalentes. La evidencia ambiental también presentó diferencias en los límites del sistema y en los métodos de evaluación utilizados. En consecuencia, los valores se conservaron en las unidades y monedas informadas por cada fuente para evitar equivalencias no sustentadas (Fonseca et al., 2023; Atarés et al., 2024).

Tabla 1

Indicadores técnicos, ambientales y económicos reportados para materiales biodegradables y bioempaques

Dimensión	Material, sistema o muestra	Indicador evaluado	Resultado reportado
Técnica: resistencia	PLA y PCL	Resistencia a la tracción	PLA: 60 MPa; PCL: 14 MPa
Técnica: formulación	Mezclas PLA/PCL	Cambio en resistencia y elongación	15 % de PCL: reducción de 7,3 MPa; 30 % de PCL: reducción de 17,7 MPa; elongación: aumento aproximado de 60 %
Técnica: barrera	PHBV con 0,04 % de nanopartículas plata	Permeabilidad al oxígeno	Reducción de 56 % respecto del PHBV sin modificar
Ambiental	Ciclo de vida de 30 alimentos	Participación del empaque en las emisiones totales	Menos del 10 % en 23 de 30 alimentos, equivalente al 76,7 % de los casos
Económica	Producción de PHBV	Costo estimado de producción	de €2,82/kg; US\$6,29/kg; US\$2,05/kg en una simulación de 1.890 t/año
Económica	Producción de PHA	Estructura de costos	Materia prima: más del 40 % del costo operativo anual; recuperación y purificación: más del 50 % del costo total
Industrial	Mercado mundial de bioplásticos en 2024	Capacidad y utilización productiva	Capacidad: 2,47 millones de toneladas; producción: 1,44 millones; utilización: 58 %
Industrial	Segmento de envases en 2024	Participación en la capacidad mundial	1,12 millones de toneladas, equivalentes al 45 %

Nota. PLA = ácido poliláctico; PCL = policaprolactona; PHA = polihidroxialcanoatos; PHBV = poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato). El porcentaje de 76,7 % se calculó a partir de 23/30 alimentos. Los valores no representaron promedios combinados, sino resultados independientes conservados según las condiciones de cada estudio (Moraczewski et al., 2025; Atarés et al., 2024; Kan & Miller, 2022; European Bioplastics, 2024).

La dimensión ambiental mostró que el empaque no concentró la mayor proporción de emisiones en la mayoría de los productos examinados. En 23 de los 30 alimentos evaluados, equivalentes al 76,7 %, los envases plásticos representaron menos del 10 % de las emisiones totales del ciclo de vida; no obstante, se registraron diferencias entre productos líquidos, sólidos y categorías alimentarias. De manera complementaria, una revisión de 81 evaluaciones de ciclo de vida de productos de PLA encontró que 20 estudios se publicaron en 2021, 10 en 2020 y 9 en 2022, proporciones equivalentes al 24,7 %, 12,3 % y 11,1 %, respectivamente. El programa SimaPro se utilizó en el 52 %

de esas evaluaciones, mientras que ReCiPe constituyó el método de impacto más frecuente, con una participación del 24 %. La heterogeneidad de unidades funcionales, límites del sistema y escenarios de disposición final impidió obtener un indicador ambiental agregado aplicable a todos los bioempaques (Kan & Miller, 2022; Fonseca et al., 2023).

Los resultados económicos mostraron una diferencia amplia entre los costos estimados de PHBV y los valores informados para el polipropileno convencional. La producción de PHBV se estimó en €2,82/kg cuando utilizó lactosa de suero, en US\$6,29/kg mediante fermentación alimentada con recursos renovables y en US\$2,05/kg bajo una capacidad simulada de 1.890 toneladas anuales; en contraste, el polipropileno se situó en €1,00/kg o en menos de US\$1,00/kg. Dentro de la estructura productiva de los PHA, las materias primas representaron más del 40 % del costo operativo anual, mientras que la recuperación y purificación superaron el 50 % del costo total. En el plano industrial, la capacidad mundial de bioplásticos llegó a 2,47 millones de toneladas en 2024, aunque la producción efectiva alcanzó 1,44 millones, equivalente a una utilización del 58 %; los envases reunieron 1,12 millones de toneladas y el 45 % del mercado. En síntesis, el hallazgo central mostró avances cuantificables en resistencia, flexibilidad y propiedades de barrera, junto con resultados ambientales condicionados por el ciclo de vida y costos productivos superiores a los de los polímeros convencionales (Atarés et al., 2024; European Bioplastics, 2024).

Barreras y oportunidades para la incorporación industrial en Ecuador y Latinoamérica

El análisis tuvo como propósito identificar las condiciones que limitaron o favorecieron la incorporación industrial de bioempaques en el sector alimentario ecuatoriano y latinoamericano. Las barreras se concentraron en cuatro dimensiones: desempeño técnico, costo de producción, infraestructura posconsumo y aceptación comercial. En Ecuador se recolectaron, durante 2024, aproximadamente 14.193,5 toneladas diarias de residuos sólidos, de las cuales el 77,1 % se gestionó sin diferenciación y únicamente el 22,9 % mediante recolección diferenciada. Además, solo el 27,1 % de los 221 gobiernos municipales declaró haber iniciado o mantenido procesos de separación en la fuente. Respecto de la disposición final, el 59,7 % de los municipios utilizó rellenos sanitarios, el 24,4 % recurrió a celdas emergentes y el 15,8 % depositó los residuos en botaderos, resultados que delimitaron la capacidad disponible para manejar materiales compostables o biodegradables después de su consumo (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2025b).

La dimensión económica presentó diferencias considerables entre las rutas productivas examinadas. El costo estimado del PHBV fue de €2,82/kg cuando se produjo a partir de lactosa de suero, de US\$6,29/kg en procesos fermentativos con recursos renovables y de US\$2,05/kg en una simulación industrial con capacidad de 1.890 toneladas anuales. Dentro de la estructura de costos de los polihidroxialcanoatos, las materias primas representaron más del 40 % del gasto operativo anual, mientras que las fases de recuperación y purificación superaron el 50 % del costo total. Los valores no se promediaron porque correspondieron a monedas, escalas, sustratos y configuraciones tecnológicas diferentes. Junto con esta variabilidad económica, la evidencia registró sensibilidad a la humedad, menor estabilidad térmica en determinadas formulaciones y

necesidad de modificar las propiedades mecánicas y de barrera antes de alcanzar una producción comercial continua (Atarés et al., 2024; Ghasemlou et al., 2024).

Las oportunidades relacionadas con la disponibilidad de materias primas se localizaron principalmente en las cadenas agroindustriales de la Costa ecuatoriana. En 2024, la producción nacional de banano alcanzó 7,5 millones de toneladas y aumentó 5,6 % respecto de 2023; además, Los Ríos, Guayas y El Oro concentraron el 87,1 % de la superficie cosechada. La producción de caña de azúcar llegó a 6,3 millones de toneladas, con un crecimiento interanual de 2,0 %, mientras que la palma africana alcanzó 2,6 millones y aumentó 29,4 %. También se registraron 1,9 millones de toneladas de arroz y 1,1 millones de toneladas de maíz duro seco, con variaciones de 18,8 % y -15,4 %, respectivamente. Estos volúmenes identificaron cadenas con disponibilidad potencial de cáscaras, fibras, bagazos y fracciones amiláceas; sin embargo, no se calcularon cantidades efectivas de residuos, porque los registros oficiales informaron producción agrícola y no coeficientes de aprovechamiento para bioempaques (INEC, 2025a).

La aceptación del mercado apareció como una oportunidad diferenciada frente a las restricciones productivas y logísticas. En un estudio experimental con 529 participantes, el 96,8 % seleccionó botellas de plástico biobasado frente a alternativas de origen fósil, y la muestra manifestó una disposición general a pagar un precio superior por el producto biobasado. Este resultado aportó un indicador cuantitativo de preferencia, aunque no correspondió a una muestra ecuatoriana o latinoamericana y, por tanto, se conservó como evidencia externa de comportamiento del consumidor. En conjunto, los hallazgos mostraron que las barreras se concentraron en el costo, la escalabilidad, la estabilidad funcional y la limitada separación posconsumo, mientras que las oportunidades se asociaron con el volumen agroindustrial disponible y la preferencia por envases de origen renovable. El patrón central describió una disponibilidad material y comercial favorable que todavía coexistió con capacidades insuficientes de transformación industrial y gestión diferenciada de residuos (Zwicker et al., 2023; Ghasemlou et al., 2024).

4. Discusión

El estudio analiza el potencial de los bioempaques y materiales biodegradables para su aplicación sostenible en la industria alimentaria ecuatoriana y latinoamericana, y los hallazgos sugieren que su incorporación depende de la interacción entre funcionalidad, costo y condiciones territoriales de gestión. El predominio de películas polisacáridicas, sistemas flexibles y formulaciones activas indica que la innovación se concentra en materiales capaces de combinar protección alimentaria con aprovechamiento de recursos renovables. Sin embargo, el liderazgo productivo del ácido poliláctico y la participación del 45 % de los envases en la capacidad mundial de bioplásticos muestran que la expansión comercial no se distribuye de manera homogénea entre todas las tecnologías. Esta tendencia coincide con Dirpan et al. (2023) y Versino et al. (2023), quienes identifican una mayor diversidad de desarrollos en películas y recubrimientos que en estructuras rígidas de escala industrial. Por tanto, el potencial regional no reside únicamente en sustituir polímeros fósiles, sino en seleccionar soluciones compatibles

con el alimento, la vida útil y el sistema posconsumo disponible (European Bioplastics, 2024).

La comparación técnica revela que las mejoras funcionales se acompañan de compensaciones que impiden considerar a los materiales biodegradables como sustitutos universales. La reducción del 56 % en la permeabilidad al oxígeno del PHBV modificado y el incremento aproximado del 60 % en la elongación de mezclas PLA/PCL muestran que los aditivos y las combinaciones poliméricas pueden corregir limitaciones específicas, aunque también disminuyen la resistencia mecánica o modifican las condiciones de degradación (Atarés et al., 2024; Moraczewski et al., 2025). Estos resultados convergen con Negrete-Bolagay y Guerrero (2024), quienes sostienen que el procesamiento, la humedad y la formulación determinan el desempeño final, pero divergen de interpretaciones que equiparan automáticamente biodegradabilidad con superioridad ambiental. En efecto, el hecho de que el empaque represente menos del 10 % de las emisiones en 23 de 30 alimentos examinados indica que una sustitución que reduzca la conservación podría aumentar el impacto total del sistema alimentario (Kan & Miller, 2022). En consecuencia, la evaluación ambiental requiere integrar la protección del producto, la unidad funcional y el escenario real de disposición, tal como advierte la heterogeneidad identificada en los análisis de ciclo de vida de PLA (Fonseca et al., 2023).

La dimensión económica y territorial refuerza esta interpretación, porque los costos estimados del PHBV (entre US\$2,05/kg y US\$6,29/kg, según la ruta productiva) permanecen por encima de los valores reportados para polímeros convencionales, mientras las materias primas y la recuperación concentran proporciones sustanciales del gasto (Atarés et al., 2024). No obstante, la elevada producción ecuatoriana de banano, caña de azúcar, palma, arroz y maíz señala una base potencial para valorizar cáscaras, bagazos, fibras y fracciones amiláceas, en concordancia con las experiencias de cáscara de plátano descritas por Lora et al. (2022) y Hoque y Janaswamy (2024). Esta oportunidad debe interpretarse con cautela, porque los volúmenes agrícolas no equivalen directamente a residuos técnicamente recuperables ni garantizan pureza, continuidad o costos competitivos. Además, la baja separación en la fuente y el predominio de la recolección no diferenciada limitan el beneficio de materiales compostables cuando su destino final no asegura condiciones controladas de degradación (INEC, 2025b). Desde una perspectiva práctica, los hallazgos respaldan un modelo de adopción gradual que vincula materia prima local, requerimientos del alimento, capacidad empresarial y gestión municipal, antes que una sustitución generalizada basada únicamente en atributos ambientales percibidos (Ghasemlou et al., 2024).

Las interpretaciones están condicionadas por el carácter documental, exploratorio y transversal del estudio, así como por la diversidad de formulaciones, espesores, métodos de ensayo, monedas, escalas productivas y límites de ciclo de vida presentes en las fuentes. Estas diferencias impiden calcular efectos combinados, establecer relaciones causales o generalizar la preferencia observada en 529 consumidores (de los cuales el 96,8 % eligió una alternativa biobasada) al mercado ecuatoriano sin evidencia local adicional (Zwicker et al., 2023). Futuras investigaciones deberían comparar formulaciones obtenidas de residuos agroindustriales ecuatorianos bajo condiciones estandarizadas, medir migración e inocuidad, evaluar vida útil en alimentos

concretos y estimar costos mediante plantas piloto y análisis de ciclo de vida territorializados. También resulta necesario examinar la aceptación del consumidor, la disposición a pagar y la biodegradación en rellenos sanitarios, compostaje industrial y ambientes abiertos, evitando asumir equivalencias entre materiales biobasados, biodegradables y compostables (Ghasemlou et al., 2024; Negrete-Bolagay & Guerrero, 2024). Así, la contribución central del estudio consiste en integrar desempeño técnico, impacto ambiental, viabilidad económica e infraestructura posconsumo, atendiendo la brecha regional que mantiene estas dimensiones separadas y desplazando el análisis hacia una relación sistémica entre alimento, empaque y territorio.

5. Conclusiones

Los resultados permiten concluir que los bioempaques y materiales biodegradables presentan un potencial relevante para la industria alimentaria de Ecuador y Latinoamérica, aunque su sostenibilidad depende de condiciones técnicas, económicas y territoriales específicas. El predominio de películas flexibles, recubrimientos y formulaciones activas evidencia una trayectoria tecnológica orientada a combinar conservación alimentaria y aprovechamiento de recursos renovables. La participación de los envases en el 45 % de la capacidad mundial de bioplásticos confirma su importancia industrial, pero no demuestra que todas las soluciones disponibles sean funcional o ambientalmente superiores. En consecuencia, la adopción debe considerar el alimento protegido, la vida útil requerida y el tratamiento pos consumo disponible. Esto permite sostener que la sustitución del plástico convencional requiere una evaluación integral y no únicamente la comprobación del origen biológico del material.

La integración de los objetivos específicos evidencia que los materiales analizados abarcan polisacáridos, proteínas y poliésteres biodegradables con aplicaciones y comportamientos diferenciados. Las modificaciones de las matrices mejoran determinadas propiedades de barrera, flexibilidad o actividad protectora, pero también pueden reducir la resistencia, alterar la degradación o incrementar las exigencias de procesamiento. En el ámbito económico, los costos estimados del PHBV, comprendidos entre US\$2,05/kg y US\$6,29/kg según la ruta productiva, limitan su competitividad frente a los polímeros convencionales. A ello se suma que el 77,1 % de los residuos sólidos ecuatorianos se gestiona sin diferenciación, lo cual restringe el aprovechamiento ambiental de envases comportables. En conjunto, los hallazgos evidencian que la disponibilidad de biomasa agroindustrial constituye una oportunidad real, pero todavía coexiste con barreras de costo, escalabilidad, estabilidad funcional e infraestructura pos consumo.

El aporte principal del estudio radica en integrar dimensiones que suelen evaluarse de manera fragmentada: origen de la materia prima, propiedades tecnológicas, inocuidad, impacto ambiental, costo y alternativa de disposición final. Esta articulación amplía el análisis desde el material aislado hacia la relación alimento (empaque–territorio, lo cual ofrece una base conceptual más adecuada para la ingeniería de alimentos y la toma de decisiones industriales. En el plano profesional, los resultados permiten orientar la selección de materiales de acuerdo con las necesidades reales de conservación y distribución, antes que con atributos ambientales genéricos. En el ámbito institucional, se observa la necesidad de coordinar innovación productiva, regulación, separación en

la fuente y valorización de residuos agroindustriales. De este modo, la investigación contribuye a delimitar criterios verificables para avanzar hacia sistemas de envasado compatibles con una bioeconomía circular regional.

Las aplicaciones industriales deberían avanzar de forma gradual mediante ensayos piloto que comparen formulaciones elaboradas con residuos agroindustriales ecuatorianos bajo condiciones estandarizadas. También se recomienda evaluar resistencia, permeabilidad, migración, inocuidad, vida útil y biodegradación en alimentos concretos, junto con estimaciones económicas ajustadas a escalas productivas locales. Los estudios posteriores podrían incorporar análisis de ciclo de vida territorializados, escenarios de compostaje y disposición final, además de mediciones de aceptación y disposición a pagar en consumidores latinoamericanos. Estas líneas permitirían determinar qué alternativas conservan adecuadamente los alimentos y generan beneficios ambientales verificables dentro de la infraestructura disponible. La contribución central del estudio consiste, por tanto, en establecer que el potencial de los bioempaques depende de la convergencia entre desempeño funcional, viabilidad económica y gestión posconsumo, aspecto que responde a la brecha identificada en el problema investigado.

Referencias Bibliográficas

- Abasolo-Pacheco, F., Sellan-Canales, M. J., García-Gallirgos, V. J., & Onofre-Correa, J. A. (2025). Desarrollo vegetativo del maíz bajo influencia de diluciones minerales y biológicas. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 265-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/121>
- Álvarez-Laborde, A. O., Vélez-Guerrero, C. R., Vinueza-Mendoza, G. W., & Chévez-Franco, G. A. (2026). Estrategias pasivas de ventilación natural en climas cálido-húmedos. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 320-331. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/153>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2021). *Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva*. Registro Oficial, Cuarto Suplemento No. 488. <https://www.registroficial.gob.ec/cuarto-suplemento-al-registro-oficial-no-488/>
- Atarés, L., Chiralt, A., González-Martínez, C., & Vargas, M. (2024). Production of polyhydroxyalkanoates for biodegradable food packaging applications using *Haloferax mediterranei* and agrifood wastes. *Foods*, 13(6), 950. <https://doi.org/10.3390/foods13060950>.
- Atta, O. M., Manan, S., Shahzad, A., Ul-Islam, M., Ullah, M. W., & Yang, G. (2022). Biobased materials for active food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 125, 107419. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107419>.
- Brito-Gómez, V. M., Herrera-Jácome, D. F., Miranda-Monar, G. H., Conrado-Palma, D. J., & Miranda-Monar, H. P. (2026). Modelación DSSAT del maíz bajo cambio climático y densidad de siembra en época lluviosa. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 548-562. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/170>
- Cabrera-Verdezoto, R. P., Zambrano-Molina, J. D., Maytin-Fumero, C., & Vélez-Sánchez, A. B. (2023). La influencia de la microbiota del suelo en el rendimiento

- agrícola, un análisis científico. *Innova Science Journal*, 1(4), 13-24. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n4/24>
- Campuzano-Vera, S. E., Alcázar-Espinoza, J. A., Alcázar-Campuzano, M. Z., & Wolf-Noblecilla, D. M. (2024). Contenido fenólico y capacidad antioxidante de un vino a base de Reina Claudia roja (*Prunus domestica*). *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(4), 303–320. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/149>
- 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>.
- Dávila-Ulloa, M., & Morales-Ulloa, G. F. (2026). Caracterización de la vegetación ribereña y conservación ecológica en la reserva Limoncocha. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(2), 65-78. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/181>
- 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>.
- Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Borbor-Lainez, M. V. (2026). Degradabilidad ruminal in vitro y cinética de fermentación de residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de rumiantes. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(2), 163-174. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v6/n2/247>
- Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Bone-Flores, D. E. (2026). Composición química de subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) utilizados en la alimentación de rumiantes. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(2), 152-162. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v6/n2/246>
- European Bioplastics. (2024). *Bioplastics market development update 2024*. https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/2024/EUBP_Market_Data_Report_2024.pdf
- Fonseca, A., Ramalho, E., Gouveia, A., Figueiredo, F., & Nunes, J. (2023). Life cycle assessment of PLA products: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(16), 12470. <https://doi.org/10.3390/su151612470>
- Ghasemlou, M., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2024). The future of bioplastics in food packaging: An industrial perspective. *Food Packaging and Shelf Life*, 43, 101279. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101279>
- Guamán-Rivera, S. A., Ruiz-Sánchez, C. I., & Maytin-Fumero, C. (2024). Ganadería sostenible y gestión eficiente de recursos naturales en zonas rurales. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 1(4), 1-20. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v1/n4/22>
- Guerrero-Calero, J. M., Maytin Fumero, C. E., Barban-Forte, Y., Mielles-Giler, J. W., & Cabrera-Verdesoto, C. A. (2025). Naturaleza y cultura: la cosmovisión ambiental

en el Ecuador pluricultural.
Editorial. <https://doi.org/10.63618/omeditorial/l1>

Oriente-Manabí

- Herrera-Sánchez, D. J., Gaviláñez-Buñay, T. C., Lizarraga-Aguirre, H. R., & Allebrandt, S. L. (2024). Trazabilidad y calidad en la cadena de valor de productos pesqueros. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 1(4), 21-40. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v1/n4/23>
- Hoque, M., & Janaswamy, S. (2024). Biodegradable packaging films from banana peel fiber. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37, 101400. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101400>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025a). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2024: Boletín técnico*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2024/Boletin_tecnico_ESPAC_2024.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025b). *Gestión de residuos sólidos 2024: Boletín técnico*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios/2024/grs/BOLETIN_RESIDUOS_2024.pdf
- Kan, M., & Miller, S. A. (2022). Environmental impacts of plastic packaging of food products. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106156. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106156>.
- Lazo, M., Adrián, E., López, W., Menéndez, A., Naranjo-Silva, S., & Rigail-Cedeño, A. (2024). Plastics waste management in developing country: The case of Ecuador. En *Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.119>.
- Lora, E., Anave, A., Iriarte, Y., Pabón, A., Pérez, A., Vidal, P., & Sandalio, A. (2022). Biodegradable packaging made from banana peels. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 29(2), 10–20. <https://doi.org/10.31243/aci.v29i2.1843>.
- Moraczewski, K., Stepczyńska, M., Raszowska-Kaczor, A., Szymańska, L., & Rytlewski, P. (2025). PLA/PCL polymer material for food packaging with enhanced antibacterial properties. *Polymers*, 17(9), 1134. <https://doi.org/10.3390/polym17091134>
- Navarro-Patta, F. R., Manobanda-Bustillo, M. J., Sellan-Canales, M. J., & Zambrano-Leones, C. A. (2026). Comportamiento agronómico de Capsicum annum L bajo aplicación de abonos orgánicos líquidos (N. E. Puente-Monar, Trans.). *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 287-305. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/150>
- Negrete-Bolagay, D., & Guerrero, V. H. (2024). Opportunities and challenges in the application of bioplastics: Perspectives from formulation, processing, and performance. *Polymers*, 16(18), 2561. <https://doi.org/10.3390/polym16182561>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2022). *Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Panou, A., & Karabagias, I. K. (2023). Biodegradable packaging materials for foods preservation: Sources, advantages, limitations, and future perspectives. *Coatings*, 13(7), 1176. <https://doi.org/10.3390/coatings13071176>
- Patiño-Uyaguari, J. L., Guerrero-Calero, J. M., & Castro-Landin, A. L. (2024). Agricultura sostenible y seguridad alimentaria en contextos de cambio climático. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 1(3), 82-101. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v1/n3/21>
- Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A. C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIM Evidence Synthesis*, 18(10), 2119–2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). *Food Waste Index Report 2024: Think Eat Save—Tracking progress to halve global food waste*. <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>
- Ruperty-Parraga, J. E., Ponce-Arévalo, L. D., Rodríguez-Rivera, R. S., Reasco-Tigua, E. D., & Manrique-Piedra, K. X. (2026). Mucílago de cacao como agente antifúngico in vitro frente a *Moniliophthora roreri*. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 298-317. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/166>
- 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>
- Tirira-Chulde, F. G., Coronel-Zambrano, L. D., Casa-Molina, B. L., & Zambrano-Muñoz, D. M. (2026). Evaluación de la harina de quinua (*Chenopodium Quinoa*) germinada como agente emulsionante y texturizante en la salchicha tipo 3. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 233-247. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/163>
- Torres-Cobo, L. E., & Muñoz-Tarira, A. J. (2026). Optimización del flujo operativo como estrategia para garantizar la inocuidad en la recepción de cacao. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 138-153. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/157>
- Troncozo-Correa, J. B., Rodríguez-Intriago, C. K., Arteaga-Terán, A. G., Pillasagua-León, I. R., & Arechua-Pino, K. F. (2026). Potencial antifúngico de extractos vegetales contra *Puccinia sorghi* en el cultivo de *Zea mays*. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(2), 17-31. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/177>
- Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., Rivero, S., López, O. V., & García, M. A. (2023). Sustainable and bio-based food packaging: A review on past and current design innovations. *Foods*, 12(5), 1057. <https://doi.org/10.3390/foods12051057>
- Zambrano-Morales, D. M., Vences-Tachong, R. E., Murillo-Orellana, D. D., Muñoz-Montoya, J. A., & Solorzano-Cedeño, L. J. (2026). Ácidos húmicos y su influencia

en la producción de cacao CCN-51. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(2), 210-225. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/190>

Zwicker, M. V., Brick, C., Gruter, G.-J. M., & van Harreveld, F. (2023). Consumer attitudes and willingness to pay for novel bio-based products using hypothetical bottle choice. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.021>

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.