

Avances en el desarrollo de envases biodegradables a partir de residuos agrícolas: estado del arte y perspectivas

Advances in the development of biodegradable packaging from agricultural residues: state of the art and perspectives

^aLuis D. Gómez Human¹ 

^bRafael J. Malpartida Yapias¹ 

^cJimmy P. Echevarria Victorio¹ 

^dRoció Candiotti Bonzano¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma.

Recibido: Octubre, 2025 / Aceptado: Noviembre 2025 / Publicado: Diciembre 2025

RESUMEN

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo analizar el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables, en un contexto de creciente preocupación ambiental por el uso de plásticos convencionales. Se seleccionaron 45 estudios publicados entre 2020 y 2025, los cuales demuestran que subproductos como cáscaras, bagazo, fibras vegetales y residuos de cultivos ofrecen propiedades funcionales destacables cuando son integrados en matrices biodegradables como almidón, pectina o proteínas vegetales. Entre los principales hallazgos, se destaca la mejora en la resistencia mecánica, estabilidad térmica, capacidad de barrera al vapor de agua, y en algunos casos, la actividad antioxidante y antimicrobiana de los materiales desarrollados. Pese a los avances, se identifican desafíos como la estandarización de procesos, la escalabilidad industrial y la variabilidad en la calidad de los residuos. En conjunto, los estudios revisados respaldan la viabilidad de estos materiales como alternativa ecológica en el sector del empaque, promoviendo el desarrollo de una economía circular y sostenible.

Palabras clave: Residuos agroindustriales; economía circular; materiales sostenibles; almidón; biopolímeros; películas activas; embalaje ecológico.

ABSTRACT

This systematic review aimed to analyze the utilization of agro-industrial waste in the development of biodegradable packaging, considering the increasing environmental concern regarding conventional plastics. A total of 45 studies published between 2020 and 2025 were selected, highlighting the integration of agricultural by-products such as peels, bagasse, plant fibers, and crop residues into biodegradable matrices like starch, pectin, or plant-based proteins. The results demonstrate significant improvements in mechanical strength, thermal stability, water vapor barrier, and, in some cases, antioxidant and antimicrobial activity. Despite this progress, challenges remain regarding process standardization, industrial scalability, and raw material variability. Overall, the reviewed studies support the feasibility of these materials as ecological alternatives for packaging, contributing to the promotion of a sustainable and circular economy.

Keywords: Agro-industrial waste; circular economy; sustainable materials; starch; biopolymers; active films; green packaging.

INTRODUCCION

El consumo global de plásticos ha crecido de forma exponencial desde la década de 1950 alcanzando una producción anual de aproximadamente 430 millones de toneladas métricas en 2022 de las cuales más de dos tercios corresponden a productos de corta vida útil que rápidamente se convierten en desechos. Según estimaciones del mismo informe si se mantiene el escenario la producción de plásticos podría triplicarse para 2060 generando impactos ambientales y económicos irreversibles. Actualmente, se calcula que solo el 9% de los plásticos se recicla efectivamente mientras que una parte considerable se incinera, se entierra en vertederos o se dispersa en el medio ambiente (UNEP, 2023). Esta situación ha incentivado el desarrollo de envases biodegradables como una alternativa sostenible para mitigar la dependencia de los plásticos convencionales siempre que se garantice su desempeño funcional y su viabilidad técnica frente a los materiales derivados del petróleo.

Se ha confirmado que los biopolímeros derivados de residuos agroindustriales como almidón, pectina, lignina o proteínas vegetales pueden formar películas funcionales con propiedades antimicrobianas, buena capacidad de barrera y aptitud para aplicaciones alimentarias; sin embargo, su desempeño técnico aún enfrenta desafíos como la alta sensibilidad a la humedad y una resistencia mecánica limitada especialmente en condiciones de almacenamiento prolongado (Culqui-Arce et al., 2025; Regmi et al., 2024; Varghese et al., 2023). Estas limitaciones han incentivado la incorporación de nanopartículas, aceites esenciales y plastificantes naturales que mejoran la estabilidad, flexibilidad y vida útil de los filmes consolidando su potencial como alternativa viable a los plásticos convencionales.

Aunque los envases biodegradables han mostrado avances notables sus propiedades de barrera siguen siendo inferiores a las de los polímeros sintéticos. La incorporación de recubrimientos funcionales ha surgido como estrategia clave para mejorar su rendimiento especialmente frente a la humedad y al oxígeno (Jahangiri et al., 2024). Las modificaciones incluyen desde capas de polisacáridos y proteínas hasta el uso de técnicas avanzadas como deposición por vacío o electrospinning, que mejoran la adhesión, resistencia mecánica y funcionalidad antimicrobiana (Attallah et al., 2021; Marano et al., 2022). Estas innovaciones posicionan a los recubrimientos como elementos esenciales para que los biopolímeros puedan competir en aplicaciones reales de empaques alimentarios.

A pesar del creciente número de publicaciones la información disponible se encuentra dispersa y muchas veces no permite establecer comparaciones claras entre metodologías, materiales y propiedades evaluadas. Esta fragmentación limita la capacidad de replicar resultados y dificulta la adopción de soluciones escalables a nivel industrial. Por ello, El objetivo de este estudio es sintetizar la evidencia científica publicada entre los años 2020 y 2025 a fin de identificar materiales más utilizados, avances tecnológicos y limitaciones persistentes en el diseño de estos biopolímeros para aplicaciones en envases sostenibles

..

METODOLOGÍA

La presente revisión sistemática se desarrolló conforme a un protocolo estructurado fundamentado en los lineamientos metodológicos establecidos por la declaración PRISMA. El proceso de búsqueda se enfocó en las bases de datos científicas Scopus y Web of Science aplicando estrategias específicas de recuperación de información que aseguran tanto la exhaustividad como la posibilidad de replicación del estudio (Page et al., 2021).

Para llevar a cabo la revisión sistemática sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la fabricación de envases biodegradables se aplicaron estrategias de búsqueda estructuradas en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS). En ambos casos se utilizó la ecuación: (“biodegradable packaging” AND properties AND wastes) lo que permitió identificar estudios relacionados con las propiedades técnicas de este tipo de materiales elaborados a partir de desechos orgánicos.

La búsqueda bibliográfica se acotó a publicaciones comprendidas entre los años 2020 y 2025 priorizando artículos en idioma inglés con el fin de mantener la coherencia lingüística y metodológica del análisis. Los criterios de inclusión contemplaron estudios originales que presentaran resultados experimentales sobre las propiedades funcionales y de barrera de envases biodegradables elaborados a partir de residuos agrícolas. Se excluyeron trabajos de tipo teórico, revisiones, artículos de opinión y aquellos que no abordaran de manera directa la temática central de esta revisión.

En la etapa inicial se identificaron 190 publicaciones en Web of Science y 291 en Scopus las cuales fueron sometidas a un proceso de depuración mediante la revisión de títulos, resúmenes y palabras clave para verificar su pertinencia con el objetivo de estudio. Tras eliminar duplicados y descartar investigaciones que no cumplieran con los criterios establecidos se procedió a una lectura detallada de los textos completos. Como resultado de este proceso se seleccionaron 45 artículos que cumplieran con todos los requisitos metodológicos y temáticos para ser incluidos en el análisis final de esta revisión sistemática.

La información relevante fue recolectada a través de una ficha de extracción previamente diseñada, asegurando la uniformidad en el registro de los datos. Asimismo, la calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada con base en criterios establecidos de forma anticipada. Los hallazgos se organizarán mediante un análisis cualitativo y, cuando sea posible, también cuantitativo, con el propósito de ofrecer una comprensión amplia y fundamentada del fenómeno investigado.

Tabla N°01:

Cantidad de artículos reportados

Base de datos consultados		Resultados
Scopus	291	
Web of Science	190	
Total	481	

Tabla N°02:

Criterios de inclusión y exclusión

Parámetros de inclusión	Parámetros de exclusión
Artículos originales con resultados empíricos	Artículos de revisión, comentarios u opiniones
Estudios que aborden el uso de residuos agrícolas en envases biodegradables	Publicaciones que no traten directamente sobre envases biodegradables basados en residuos
Investigaciones que evalúen propiedades funcionales y/o de barrera del material	Estudios publicados antes del año 2020
Publicaciones científicas en inglés	Artículos en idiomas distintos al inglés

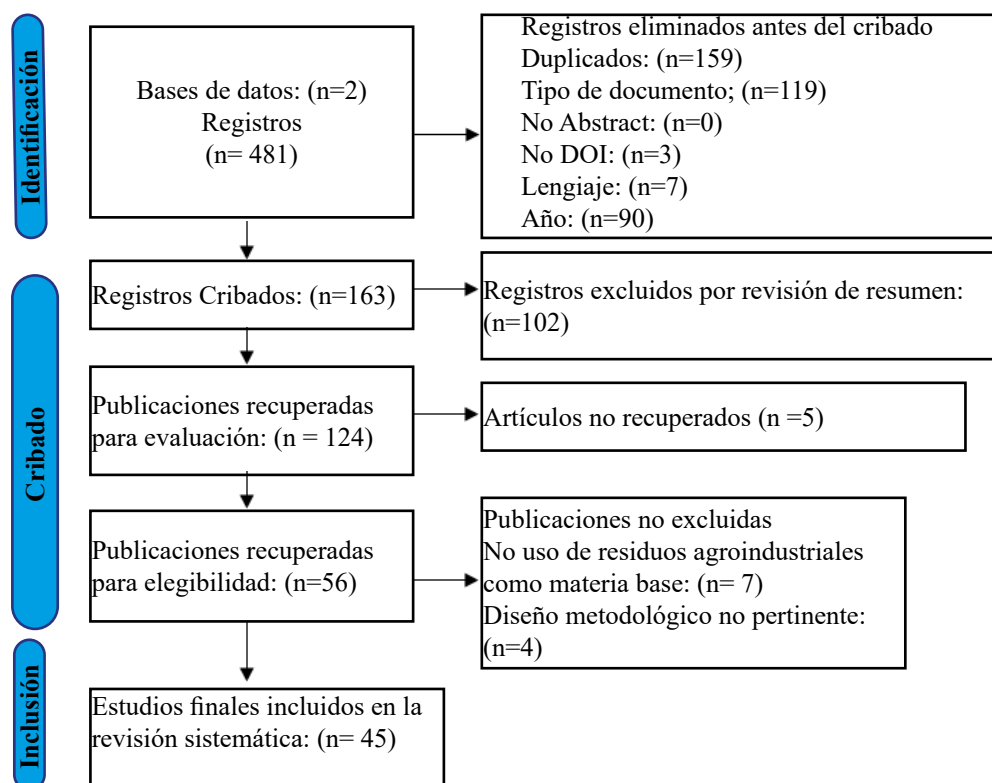
Durante el desarrollo de la revisión sistemática se recopilaron inicialmente 481 registros a partir de dos bases de datos especializadas Scopus y Web of Science. En la fase de depuración automática se aplicaron filtros específicos para asegurar la pertinencia y calidad de los documentos.

Como resultado se eliminaron 159 artículos duplicados y 119 documentos que no correspondían al tipo de estudio requerido tales como revisiones o cartas al editor. También se descartaron 3 publicaciones sin código DOI, 7 en idiomas distintos al inglés y 30 que no se encontraban dentro del rango temporal establecido entre los años 2020 y 2025. Luego de esta primera etapa se obtuvieron 163 estudios potencialmente elegibles.

En la fase de cribado se realizó una revisión exhaustiva de los títulos y resúmenes de los registros seleccionados. Esta evaluación permitió excluir 102 artículos por no abordar directamente la temática de los envases biodegradables elaborados a partir de residuos agroindustriales o por no presentar datos empíricos. Como resultado se identificaron 61 estudios con potencial relevancia temática y metodológica que fueron seleccionados para una lectura completa.

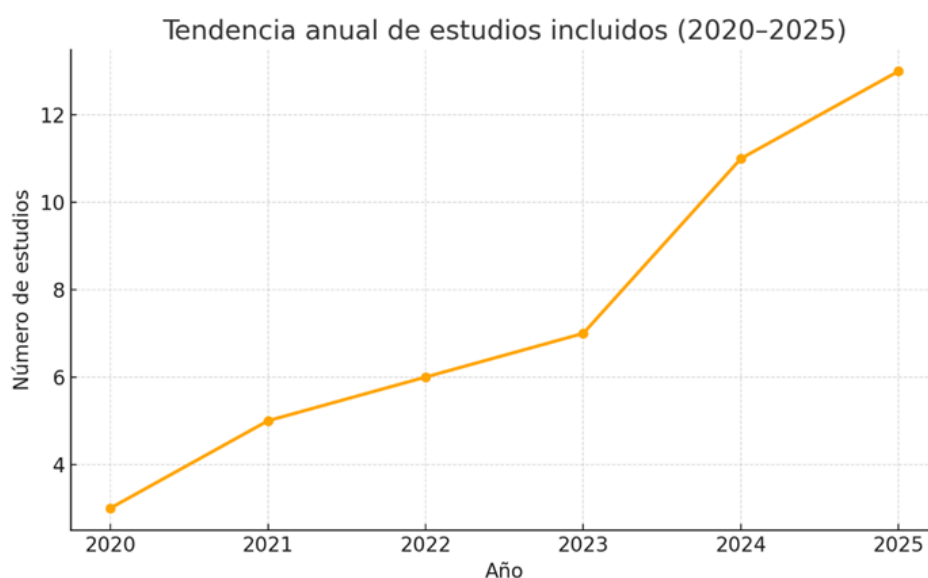
Durante la etapa de evaluación a texto completo se presentó la imposibilidad de recuperar 5 publicaciones. Por ello, se procedió con la revisión detallada de 56 estudios. De estos se excluyeron 11 por no cumplir con los criterios establecidos. Siete fueron descartados por no utilizar residuos agroindustriales como material base en la formulación de los envases ya que solo empleaban aditivos naturales o polímeros sintéticos. Cuatro estudios adicionales fueron eliminados por presentar diseños metodológicos no pertinentes como estudios comparativos sin aplicación en envases o investigaciones centradas en otras áreas temáticas.

Finalmente, se incluyeron 45 artículos originales que cumplieran con todos los criterios de inclusión. Estos estudios aportaron evidencia empírica relevante sobre las propiedades funcionales y de barrera de envases biodegradables elaborados a partir de residuos agrícolas convirtiéndose en la base del análisis de esta revisión sistemática

Figura N°01:*Diagrama de flujo PRISMA*

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis:

Figura N°02:*Distribución de los artículos por años*

La tendencia anual muestra un aumento progresivo y marcado en el número de estudios

publicados sobre envases biodegradables a partir de residuos agrícolas especialmente en los años más recientes. Entre 2020 y 2022 el crecimiento fue paulatino (de 3 a 6 estudios por año) pero a partir de 2023 el incremento es notorio con un pico de 13 estudios en 2025. Esto evidencia el auge y la prioridad creciente de la investigación en este campo impulsada por la preocupación ambiental y la demanda de alternativas sostenibles para el empaque de alimentos.

Tabla N°03:

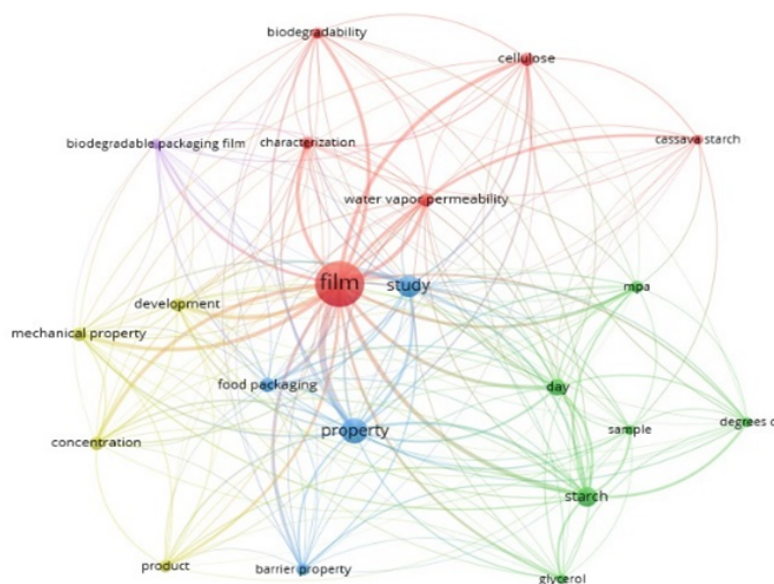
Revistas identificadas

Revista	Cantidad	Porcentaje
Journal of Polymer Research	4	16
International Journal of Biological Macromolecules	3	12
Biomass Conversion and Biorefinery	2	8
Journal of Food Science and Technology	2	8
International Journal of Food Engineering	1	4
Polymer Bulletin	1	4
Food Chemistry	1	4
Current Research in Food Science	1	4
Food Bioscience	1	4
Iranian Polymer Journal	1	4
Membranes	1	4
Sn Applied Sciences	1	4
Lwt-Food Science and Technology	1	4
Engineering And Applied Science Research	1	4
Food Packaging and Shelf Life	1	4
Journal Of Polymers and the Environment	1	4
Biocatalysis And Agricultural Biotechnology	1	4
International Journal of Biological Macromolecules	1	4

La distribución de artículos por revista muestra una notable diversidad lo que indica que la investigación sobre envases biodegradables a partir de residuos agroindustriales es abordada desde múltiples disciplinas. No se concentra en una sola publicación, sino que abarca revistas especializadas en polímeros, ciencia de los alimentos, química y biotecnología como Journal of Polymers and the Environment, Food Packaging and Shelf Life y International Journal of Biological Macromolecules. Esta variedad demuestra el interés global y transversal del tema reflejando su importancia tanto en el ámbito académico como industrial y subrayando la necesidad de enfoques integrados para el desarrollo de soluciones sostenibles en el empaque de alimentos.

Figura N°03:*Principales palabras clave*

La nube de palabras evidencia que los estudios incluidos en la revisión se centran en el desarrollo de envases biodegradables elaborados a partir de residuos agroindustriales destacando términos como “Biodegradable”, “Packaging”, “Waste”, “Film” y “Properties” como los más frecuentes. Esto refleja una orientación clara hacia la sostenibilidad y el aprovechamiento de subproductos agrícolas como materia prima para la elaboración de películas con propiedades funcionales. Palabras como “Cellulose”, “Banana”, “Starch” y “Palm” indican el uso recurrente de fuentes naturales mientras que términos como “Mechanical”, “Antibacterial”, “Antioxidant” y “Edible” sugieren que los estudios no solo buscan biodegradabilidad, sino también funcionalidad técnica y aplicaciones alimentarias. En conjunto la nube representa un campo de investigación multidisciplinario donde convergen la ingeniería de materiales y la innovación en empaques

Figura N°03:*Red conceptual del estudio*

Análisis descriptivo de artículos seleccionados

Sivasathiya et al. (2025) desarrollaron películas biodegradables a partir de subproductos del plátano utilizando polvo de cáscara y cera extraída de brotes mediante los métodos de reflujo y Soxhlet que lograron rendimientos del 2 % y 4 %, respectivamente. Las películas recubiertas con cera mostraron mayor resistencia a la humedad, aunque disminuyeron sus propiedades mecánicas. Ambos tipos de películas alcanzaron una biodegradación superior al 98 % en suelo.

Charles et al. (2024) formularon biocompuestos a partir de almidón de arrurruz, alginato de sodio y glicerol incorporando polvo de jalea de coco joven (CJP) como relleno. El aumento de CJP (1–3 %) mejoró la resistencia a la tracción (de 1,84 a 9,35 MPa) y redujo la humedad (de 33,44 % a 18,92 %). Las películas se degradaron más rápido en suelo (14–35 días) que en agua (152–180 días) y conservaron la calidad de tomates cherry durante el almacenamiento.

Carvalho et al. (2023) estudiaron los compuestos bioactivos del aceite y extracto de semilla de açai destacando su contenido en flavonoides, ácidos grasos y antocianinas. Evaluaron su incorporación en películas comestibles, nanoemulsiones y sistemas inteligentes de envasado; resaltando sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y capacidad para actuar como indicador de pH en empaques activos.

Arumugam et al. (2022) utilizaron hojas de plátano procesadas para fabricar empaques mediante moldeo por compresión. Observaron mejoras significativas en la resistencia a la tracción (30–39 %) y estabilidad térmica hasta 230 °C. La vida útil de las hojas procesadas fue de 150 días sin requerir aditivos químicos; lo que las posiciona como una alternativa sostenible frente al plástico y papel convencionales.

Dos Santos et al. (2023) diseñaron películas biodegradables a partir de almidón de yuca y cáscaras y semillas de tomate. Las películas se degradaron completamente en aproximadamente 18 días. Se observó una reducción en la solubilidad con la adición de cáscara de tomate y las propiedades de sorción de agua estuvieron fuertemente influenciadas por la temperatura y la humedad.

Mostafa et al. (2024) enriquecieron películas comestibles de proteína de soya con nanopartículas de celulosa y extracto fenólico de hojas de palma datilera. El refuerzo con celulosa mejoró las propiedades mecánicas y de barrera mientras que el extracto en polvo aumentó la actividad antioxidante y antibacteriana; dando lugar a un material de alto rendimiento para aplicaciones alimentarias sostenibles.

Pongsa et al. (2023) utilizaron residuos de coco convertidos en harina (CRF) como refuerzo en espumas de almidón de yuca. La adición de CRF (hasta 25 %) incrementó la resistencia a la flexión (2.53 MPa) y redujo la densidad. Las películas mostraron una biodegradación del 100 % en 30 días proponiendo su uso como sustituto del poliestireno expandido en empaques de alimentos secos.

Boeira et al. (2024) desarrollaron películas a base de gelatina y almidón de maíz incorporadas con extracto de estigma de maíz. Las películas con 25 % de extracto mostraron mayor hidrofobicidad y redujeron la permeabilidad al vapor de agua en un 15 %. Además, se degradaron completamente antes del décimo día y demostraron propiedades antioxidantes, siendo viables para empaques activos.

Do Vale et al. (2023) obtuvieron películas de quitosano derivado de residuos de cangrejo *Ucides cordatus* con un alto grado de desacetilación (92 %). Las películas con 1.5 % de quitosano y 0.6 % de glicerol presentaron buenas propiedades mecánicas y actividad antimicrobiana contra múltiples cepas con potencial como envase comestible y biodegradable.

Carpes et al. (2024) formularon películas biodegradables de almidón de yuca con adición de residuos de manzana (8 %). Las películas enriquecidas mostraron mayor contenido fenólico (3.32 mg GAE/g) y actividad antioxidante (2.78 mmol Trolox/g) además de compuestos volátiles característicos. Exhibieron propiedades antimicrobianas frente a bacterias comunes en alimentos.

Regmi y Janaswamy (2025) desarrollaron películas biodegradables utilizando residuos lignocelulósicos de soya tratados con NaOH obteniendo materiales con una resistencia a la tracción de 16.8 MPa y una elongación al quiebre del 14.7 %. Estas películas además de biodegradarse completamente en 33 días lograron extender la vida útil de fresas en tres días adicionales comparadas con el plástico convencional manteniendo las propiedades organolépticas y antioxidantes del fruto.

Jin et al. (2025) aprovecharon la corteza de sandía para extraer secuencialmente pectina (DM = 38.7 %) y polifenoles que se incorporaron en películas compuestas con alginato sódico. Las películas enriquecidas con polifenoles mejoraron la resistencia mecánica y la capacidad antioxidante permitiendo mantener la calidad de fresas almacenadas durante 12 días con mejor retención de color y menor pérdida de peso frente a controles.

Paudel y Janaswamy (2024) formularon películas biodegradables a partir de residuos de mazorca de maíz solubilizados y plastificados logrando una biodegradación completa en 29 días. Estas películas presentaron una resistencia a la tracción de 4.7 MPa, elongación de 15.4 % y propiedades UV-barrera logrando preservar frambuesas hasta siete días más a temperatura ambiente y cinco días más en refrigeración frente a películas de poliestireno.

Sirodariya et al. (2025) desarrollaron envases biodegradables incorporando polvo de cáscara de naranja y harina de semilla de tamarindo a matrices a base de trigo empleando metodología de superficie de respuesta para optimizar la formulación. El envase resultante mostró una resistencia a la compresión de 12.63 kgf y una baja actividad de agua (0.21) manteniendo su integridad en condiciones de humedad. Esta innovación resalta la valorización de residuos frutales y semillas para obtener envases con buenas propiedades físicas disminuyendo tanto el impacto ambiental de los residuos agroindustriales como la dependencia de plásticos convencionales

Tabla N°04:

Matriz de síntesis de los 45 artículos incluidos

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación	Referencia
Cáscara y cera de hoja de plátano	Ceras, almidón	Extracción Soxhlet/ reflujo, formación de películas	Película biodegradable para empaque	Sivasathiya et al. (2025)
Polvo de gelatina de coco, arrurruz, alginato	Polisacáridos, polvo de coco	Formulación de películas, producción de biocompuesto	Empaque biodegradable alimentario	Charles et al. (2025)
Residuos de açai	Flavonoides, antocianinas	Incorporación de extracto, formulación de película/ nanoemulsión	Empaque alimentario activo/ inteligente	Carvalho et al. (2025)
Hoja de plátano	Lignocelulosa	Moldeo por compresión	Bandejas y envoltorios biodegradables	Arumugam et al. (2024)
Almidón de yuca, cáscara de tomate	Almidón, fibra de tomate	Extrusión, análisis térmico	Película biodegradable para alimentos	dos Santos et al. (2024)
Proteína de soya, extracto de hoja de palma datilera	SPI, nanocelulosa, fenoles	Formación de películas con refuerzo y extractos	Película alimentaria antioxidante/ antibacteriana	Mostafa et al. (2023)
Harina de cáscara de coco, almidón de yuca	Fibras, almidón	Formación de espuma, pruebas físicas	Espuma biodegradable para empaque	Pongsa et al. (2023)
Extracto de estigma de maíz, gelatina, almidón de maíz	Polifenoles, gelatina, almidón	Incorporación a película, pruebas mecánicas y antioxidantes	Película activa para empaque	Boeira et al. (2022)
Residuos de cangrejo (Ucides cordatus), quitosano	Quitosano, proteínas	Extracción de quitosano, producción de película comestible	Empaque comestible y antimicrobiano	do Vale et al. (2021)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación	Referencia
Orujo de manzana, almidón	Fenoles, almidón	Incorporación de orujo a la película, pruebas mecánicas y antioxidantes	Película bioactiva para alimentos	Carpes et al. (2021)
Almidón de papa, ontmorillonita	Almidón, fenoles, arcilla	Producción de película, análisis mecánico/barrera	Película biodegradable antimicrobiana	Castañón et al. (2023)
Residuos de cuero/papel, colágeno, quitosano	Colágeno, quitosano	Recubrimiento sobre papel reciclado, evaluación de barrera	Envoltorio alimentario compostable de alta barrera	Jashi et al. (2025)
Tallo de maíz, celulosa	Celulosa, nanofibras	Preparación de nanocompuestos, solvente-casting	Película transparente y barrera al oxígeno	Zhang et al. (2024)
Almidón de maíz, pectina, nanopartículas de ZnO	Almidón, pectina, ZnO NPs	Refuerzo de película con nanopartículas	Película biodegradable resistente a UV	do Nascimento et al. (2024)
PBAT, polvo de semilla de moringa	PBAT, bioactivos de moringa	Mezclado, formación de película, evaluación térmica y antimicrobiana	Empaque antimicrobiano para frutas	Verdi et al. (2021)
Subproducto de feijoa, almidón, pectina	Fenoles, pectina, almidón	Incorporación de subproducto a la película	Película antioxidante para postcosecha	Sganzerla et al. (2020)
Residuos de soya (lignocelulosa)	Lignocelulosa	Extracción alcalina, formación y reticulado de película	Película biodegradable para fresas	Regmi y Janaswamy (2025)
Cáscara de naranja, harina/trigo y tamarindo	Polisacáridos, fibra cítrica	Mezcla optimizada (RSM), moldeo por compresión	Envase rígido biodegradable	Sirodariya et al. (2025)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación	Referencia
Corteza de sandía (pectina, polifenoles)	Pectina, polifenoles	Extracción secuencial, película compuesta	Película antioxidante para conservación de bayas	Jin et al. (2025)
Gelatina, curcumina, nanoarcilla	Gelatina, curcumina, nanoarcilla	Formación de película con nanorelleno	Empaque inteligente para mariscos	Perera et al. (2025)
Residuo de mazorca de maíz	Celulosa	Solubilización con ZnCl ₂ , formación de película	Película biodegradable para frambuesa	Paudel y Janaswamy (2024)
Tallo de remolacha, PVA, almidón	Polifenoles de remolacha, PVA, almidón	Extracción, formación de biocomposite	Película activa antioxidante para alimentos	Kathait et al. (2023)
Cáscara de lima dulce, PVA, almidón	Fibra cítrica, PVA, almidón	Casting por solución, formulación compuesta	Película biodegradable flexible	Singha et al. (2023)
Residuos de jugo de naranja, nanofibra de celulosa, aceite esencial de ortiga	Celulosa, aceite esencial	Filmación con nanofibra y aceite esencial	Película antimicrobiana para empaque	Mousavi et al. (2022)
Extracto de cáscara de piña, PVA, almidón	Polifenoles, almidón, PVA	Incorporación de extracto, casting, pruebas mecánicas/ antioxidantes	Película activa con capacidad antioxidante	Kumar et al. (2021)
Cáscara de arroz	Celulosa	Extracción química y formulación de film	Película biodegradable para empaque	Rahman et al. (2024)
Paja de trigo	Fibras de trigo	Extracción y mezcla en matrices poliméricas	Refuerzo en biopelículas	Ahmed et al. (2024)
Bagazo de maíz	Nanocelulosa	Desintegración mecánica y casting	Película reforzada con nanocelulosa	Batista et al. (2024)
Cáscara de plátano	Polvo y fibra de plátano	Procesamiento y casting	Biopelícula biodegradable	Ghosh y Ghosh (2020)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación	Referencia
Residuos de yuca	Almidón de yuca	Extracción y casting	Películas biodegradables	Akmeemana et al. (2025)
Cáscara de mango	Pectina y fibras	Extracción y casting	Películas reforzadas	Karim et al. (2022)
Bagazo de caña de azúcar	Celulosa microfibrilada	Extracción química y casting	Refuerzo en film biodegradable	de Azevedo et al. (2020)
Cáscara de coco	Coir/nanofibrillas	Extracción verde y casting	Refuerzo en film biodegradable	N. Kaur et al. (2025)
Residuos de uva/vino	Fibra de uva y extracto fenólico	Incorporación en almidón	Biopelícula antioxidante	Laureanti et al. (2021)
Residuos de cebada	Fibra y proteína de cebada	Procesado y mezcla con matrices poliméricas	Biopelícula para alimentos	Lopes et al. (2022)
Subproductos de arroz	Cáscara y paja	Mezcla con matrices poliméricas	Biopelícula reforzada	Kieffer et al. (2024)
Cáscara de maní	Polvo de maní	Casting y caracterización	Películas biodegradables comparativas	S. Kaur et al. (2025)
Residuos de café	Fibra de café, lignina	Extracción, mezcla en matrices poliméricas	Refuerzo en biopelícula	Muhammad et al. (2025)
Residuos de coco	Celulosa	Extracción y desarrollo de película inteligente	Film inteligente biodegradable	Abid et al. (2024)
Fibras ignocelulósicas de café	Lignina y fibras	Extracción y mezcla en matriz polimérica	Film antioxidante y bloqueador UV	Bhattarai y Janaswamy (2023)
Pea hull (cáscaras de arveja)	Cáscara de arveja + PVA	Mezcla y casting para películas	Empaque activo para albóndigas de pollo con mejor resistencia y vida útil extendida.	Arora et al. (2025)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación	Referencia
Bambú	Nanocristales de celulosa	Extracción y aplicación en película de almidón	Refuerzo en biopelícula de almidón de yuca	Thipchai et al. (2023)
Cáscara de huevo	Polvo de cáscara de huevo	Moldeo por extrusión y compresión	Biofiller en película biodegradable de almidón	Li et al. (2024)
Residuos naturales diversos	Fibras vegetales	Procesado y papel semi-transparente	Papel biodegradable y resistente al agua	Hosen et al. (2022)
Residuos de coco	Nanofibrillas de celulosa	Refuerzo nanoestructural en matriz polimérica	Sustituto de plástico en envase biodegradable	Arun et al. (2022)

DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión sistemática revelan avances significativos en la investigación y desarrollo de envases biodegradables elaborados a partir de residuos agroindustriales. De forma transversal los 45 estudios incluidos muestran un enfoque creciente por valorizar subproductos agrícolas y convertirlos en soluciones funcionales para el empaque sostenible.

Diversos residuos han sido aprovechados como matrices principales para el desarrollo de biopelículas o espumas biodegradables. Sivasathiya et al. (2025) emplearon residuos de plátano (cáscara y cera de tallo) para desarrollar películas biodegradables con alta tasa de degradación (98%) aunque con limitaciones en propiedades mecánicas. De forma similar, Pongsa et al. (2023) utilizaron harina de residuo de coco y posos de café para producir espumas tipo poliestireno que mostraron completa degradabilidad en compost y mejor densidad estructural con el incremento del residuo.

En cuanto a la mejora funcional diversos estudios incorporaron extractos bioactivos o nanopartículas para potenciar las propiedades antioxidantes, antimicrobianas y de barrera. Mostafa et al. (2024) destacaron que el uso de nanopartículas de celulosa y polifenoles extraídos de hojas de palma datilera mejoró el desempeño general de películas a base de proteína de soya. Asimismo, Boeira et al. (2023) reportaron que películas con extracto de estigma de maíz alcanzaron propiedades antioxidantes y biodegradabilidad antes del décimo

día de prueba.

El enfoque en residuos específicos también permitió analizar el potencial de fuentes menos exploradas. Zhang et al. (2024) desarrollaron nanocompuestos a partir de tallos de maíz usando disolventes verdes logrando buena transparencia, resistencia térmica y barrera al oxígeno. Igualmente, do Vale et al. (2023) utilizaron residuos de cangrejo para producir quitosano con alta actividad antimicrobiana y óptimas propiedades mecánicas en envases comestibles.

Por otro lado, investigaciones como la de Jashi et al. (2025) se enfocaron en el reciclaje industrial cruzado utilizando residuos de cuero y papel para generar empaques con elevada resistencia al agua, grasas y microorganismos. Este enfoque demuestra el potencial del upcycling para ampliar la sostenibilidad en sectores como el alimentario. En esa misma línea, dos Santos Cotta et al. (2023) emplearon cáscara y semilla de tomate en combinación con almidón de yuca obteniendo una biodegradación rápida (18 días) y una menor solubilidad con la adición del residuo vegetal.

Otros estudios se concentraron en mejorar la funcionalidad con aditivos naturales. Verdi et al. (2020) integraron polvo de semilla de Moringa en películas de PBAT mostrando mejoras en la conservación de frutas y propiedades antifúngicas. De manera paralela, Charles et al. (2025) incorporaron polvo de gelatina de coco a películas de almidón y alginato obteniendo mejoras notables en resistencia mecánica y biodegradabilidad acelerada en suelos (14-35 días).

En términos de sostenibilidad ambiental y propiedades fisicoquímicas Arumugam et al. (2023) propusieron el uso de hojas de plátano procesadas como sustituto estructural de envases de un solo uso; obteniendo mejoras térmicas, mecánicas y de vida útil sin aditivos químicos. Del mismo modo, Vilca et al. (2023) desarrollaron películas a base de almidón de papa con propóleos y montmorillonita destacando su efecto positivo en la actividad antimicrobiana y la permeabilidad al vapor de agua.

Por su parte, do Nascimento et al. (2023) integraron nanopartículas de óxido de zinc en matrices de pectina y almidón de maíz logrando mejoras notables en resistencia a los rayos UV y en la elasticidad del material. Carvalho et al. (2025) y Sganzerla et al. (2020) mostraron el potencial de residuos como el acai y la feijoa para incorporar propiedades antioxidantes y antimicrobianas en sistemas de envasado activos e inteligentes, incrementando así la vida útil de los alimentos.

Los estudios de Sirodariya et al. (2025), Perera et al. (2025) y Kumar et al. (2021) demuestran que la integración de residuos frutales como la cáscara de naranja, la curcumina y la cáscara de piña permite desarrollar envases biodegradables con propiedades mejoradas. Estas investigaciones confirman que la incorporación de subproductos potencia la resistencia mecánica, la actividad antioxidante, la funcionalidad inteligente de los empaques y contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental y al aprovechamiento eficiente de desechos agroindustriales.

CONCLUSIONES

En la presente revisión sistemática sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la fabricación de envases biodegradables se ha evidenciado que la revalorización de estos subproductos representa una estrategia eficiente y sostenible para enfrentar los impactos ambientales ocasionados por los plásticos convencionales. Los estudios revisados coinciden en que materiales como cáscaras de frutas, fibras vegetales, residuos de hojas, aceites esenciales, almidones modificados y nanocompuestos derivados de fuentes naturales permiten elaborar biopelículas o recubrimientos con destacadas propiedades mecánicas, térmicas y de biodegradabilidad.

A partir del análisis comparativo de los estudios se observa que a pesar de las diferencias en los métodos de procesamiento, composiciones y aditivos utilizados la mayoría de los bioplásticos desarrollados presentan mejoras en resistencia, estabilidad térmica, capacidad barrera frente a la humedad o gases y en algunos casos propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estos avances son resultado de técnicas como la incorporación de nanocelulosa, compuestos fenólicos, extractos naturales o el uso de residuos ricos en polisacáridos y lignocelulosa. Además, los ensayos de biodegradación en condiciones de suelo, compost o agua han demostrado que la mayoría de los materiales pueden degradarse completamente en periodos entre 10 y 60 días, dependiendo de la formulación.

No obstante, también se han identificado desafíos pendientes. Las variaciones en la calidad, estacionalidad y disponibilidad de los residuos agroindustriales pueden afectar la estandarización de procesos. Asimismo, la durabilidad de los envases, la compatibilidad entre componentes y los costos de producción a escala industrial requieren ser abordados mediante estudios más aplicados que combinen enfoque científico con evaluación económica y ambiental a largo plazo.

En conclusión, los envases biodegradables elaborados a partir de residuos agroindustriales constituyen una alternativa real y prometedora en el marco de la economía circular. Su desarrollo no solo contribuye a la reducción de desechos agrícolas y la contaminación plástica, sino que también impulsa la innovación en materiales sostenibles. No obstante, su implementación masiva dependerá del fortalecimiento de tecnologías de transformación, políticas de apoyo a la bioeconomía y mayor inversión en investigación aplicada que permita escalar estas soluciones hacia contextos reales de uso comercial.

REFERENCIAS

Arumugam, S., Pugazhenth, G. y Selvaraj, S. (2024). Investigations on mechanical, thermal, wettability properties of processed banana leaves for sustainable food packaging applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(18), 22527–22537. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04655-2>

- Attallah, O. A., Mojicevic, M., Garcia, E. L., Azeem, M., Chen, Y., Asmawi, S. y Brenan Fournet, M. (2021). Macro and Micro Routes to High Performance Bioplastics: Bioplastic Biodegradability and Mechanical and Barrier Properties. *Polymers*, 13(13), 2155. <https://doi.org/10.3390/polym13132155>
- Boeira, C., Flores, D., Alves, J., Moura, M., Melo, P., Rolim, C., Nogueira, D. y Rosa, C. (2022). Effect of corn stigma extract on physical and antioxidant properties of biodegradable and edible gelatin and corn starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 208, 698–706. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.164>
- Carpes, S., Bertotto, C., Bilck, A. P., Yamashita, F., Anjos, O., Bakar Siddique, M. A., Harrison, S. M. y Brunton, N. P. (2021). Bio-based films prepared with apple pomace: Volatiles compound composition and mechanical, antioxidant and antibacterial properties. *LWT*, 144, 111241. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111241>
- Carvalho, L., Carvalho, A. y Conte, C. (2025). Bioactive compounds, antimicrobial properties of Açaí (*Euterpe oleracea* mart.) and its processing residues – Insights for smart packaging and green chemistry. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 65, 103540. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103540>
- Castañón, J., Ortiz, B., Apaza, C., Medrano, E., Quequezana, M., Gutierrez, E. y Pessôa, P. (2023). Evaluation of the barrier and antimicrobial properties of biodegradable films based on potato waste starch containing natural additives. *SN Applied Sciences*, 5(12), 370. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05604-4>
- Charles, A., Nero, Z., Sulmartiwi, L., Triningtyas, P., Putra, N., Abdillah, A. y Alamsjah, M. (2025). Characterization of a biocomposite film using coconut jelly powder to improve arrowroot starch and sodium alginate film forming properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 292, 139161. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139161>
- Culqui-Arce, C., Mori-Mestanza, D., Fernández-Jeri, A. B., Cruzalegui, R. J., Mori Zababurú, R. C., Vergara, A. J., Cayo-Colca, I. S., da Silva, J. G., Araujo, N. M. P., Castro-Alayo, E. M. y Balcázar-Zumaeta, C. R. (2025). Polymers Derived from Agro-Industrial Waste in the Development of Bioactive Films in Food. *Polymers*, 17(3), 408. <https://doi.org/10.3390/polym17030408>
- do Nascimento, W., da Costa, J., Alves, E., de Oliveira, M., Monteiro, J., Souza, P., Martins, A. y Bonafe, E. (2024). Zinc oxide nanoparticle-reinforced pectin/starch functionalized films: A sustainable solution for biodegradable packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257, 128461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128461>
- do Vale, D., Vieira, C., Vidal, M., Claudino, R., Andrade, F., Sousa, J., Souza Filho, M. d, da Silva, A. y de Souza, B. (2021). Chitosan-Based Edible Films Produced from Crab-Uçá (*Ucides cordatus*) Waste: Physicochemical, Mechanical and Antimicrobial

- Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(3), 694–706. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01913-6>
- dos Santos, A., Ferreira, L., Borges, S., de Souza, B., Cotta, A. y Dias, M. V. (2024). Biodegradation, Water Sorption Isotherms and Thermodynamic Properties of Extruded Packaging Composed of Cassava Starch with Tomato Peel. *Journal of Polymers and the Environment*, 32(5), 2221–2238. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-03094-4>
- Jahangiri, F., Mohanty, A. K. y Misra, M. (2024). Sustainable biodegradable coatings for food packaging: challenges and opportunities. *Green Chemistry*, 26(9), 4934–4974. <https://doi.org/10.1039/D3GC02647G>
- Jashi, N., Debnath, M., Lucia, L., Pal, L., Rahman, M. M. y Salem, K. S. (2025). Upcycling Leather and Paper Wastes to Biodegradable Materials for Packaging Displaying Excellent Multifunctional Barrier Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 33(4), 1814–1828. <https://doi.org/10.1007/s10924-025-03526-3>
- Jin, X., Han, Y. y Sun, Q. (2025). Serial Extraction of Pectin and Polyphenols From Watermelon Rind for Use in Strawberry Preservation Film. *Journal of Food Science*, 90(4). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70216>
- Kathait, P., Omre, P. K., Kumar, P. y Gaikwad, K. K. (2023). Development of a PVA-starch Antioxidant Film Incorporating Beetroot Stem Waste Extract for Active Food Packaging. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(10), 4160–4169. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02840-y>
- Kumar, P., Tanwar, R., Gupta, V., Upadhyay, A., Kumar, A. y Gaikwad, K. K. (2021). Pineapple peel extract incorporated poly(vinyl alcohol)-corn starch film for active food packaging: Preparation, characterization and antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.136>
- Marano, S., Laudadio, E., Minnelli, C. y Stipa, P. (2022). Tailoring the Barrier Properties of PLA: A State-of-the-Art Review for Food Packaging Applications. *Polymers*, 14(8), 1626. <https://doi.org/10.3390/polym14081626>
- Mostafa, H., Airouyuwaa, J., Hamed, F., Wang, Y. y Maqsood, S. (2023). Structural, mechanical, antioxidant and antibacterial properties of soy protein isolate (SPI)-based edible food packaging films as influenced by nanocellulose (NC) and green extracted phenolic compounds from date palm leaves. *Food Packaging and Shelf Life*, 38, 101124. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101124>
- Mousavi, S., Alizadeh, A., Hamishehkar, H., Almasi, H. y Asefi, N. (2022). Orange Juice Processing Waste as a Biopolymer Base for Biodegradable Film Formation Reinforced with Cellulose Nanofiber and Activated with Nettle Essential Oil. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1), 258–269. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02195-2>

- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>
- Paudel, S. y Janaswamy, S. (2024). Corncob-derived biodegradable packaging films: A sustainable solution for raspberry post-harvest preservation. *Food Chemistry*, 454, 139749. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139749>
- Perera, K. Y., Mathew, S. S., Carnaval, L. de S. C., Pradhan, D., Jaiswal, A. K. y Jaiswal, S. (2025). Biodegradable curcumin-nanoclay films for extending shrimp shelf-life and freshness. *Current Research in Food Science*, 10, 101102. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101102>
- Pongsa, U., Sangrayub, P., Saengkhiao, P., Lumsakul, P., Kaweegitbundit, P., Kasemsiri, P. y Hiziroglu, S. (2023). Properties of biodegradable foam composites made from coconut residue as a function of the reinforcing phase of cassava starch. *Engineering and Applied Science Research*, 50(3), 270–277. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/251275>
- Regmi, S. y Janaswamy, S. (2025). Biodegradable packaging films from the alkali-extracted lignocellulosic residue of soyhulls extend the shelf life of strawberries. *Food Bioscience*, 65, 106016. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106016>
- Regmi, S., Paudel, S. y Janaswamy, S. (2024). Development of Eco-Friendly Packaging Films from Soyhull Lignocellulose: Towards Valorizing Agro-Industrial Byproducts. *Foods*, 13(24), 4000. <https://doi.org/10.3390/foods13244000>
- Sganzerla, W., Rosa, G., Ferreira, A., da Rosa, C., Beling, P., Xavier, L., Hansen, C., Ferrareze, J., Nunes, M., Barreto, P. y de Lima, A. (2020). Bioactive food packaging based on starch, citric pectin and functionalized with *Acca sellowiana* waste by-product: Characterization and application in the postharvest conservation of apple. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.074>
- Singha, P., Rani, R. y Badwaik, L. S. (2023). Sweet lime peel-, polyvinyl alcohol- and starch-based biodegradable film: preparation and characterization. *Polymer Bulletin*, 80(1), 589–605. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04040-x>
- Sirodariya, F., Tapre, A. R. y Nandane, A. S. (2025). Formulation optimization and characterization of biodegradable containers incorporated with orange peel powder and tamarind seed powder. *Journal of Food Science and Technology*, 62(2), 292–299. <https://doi.org/10.1007/s13197-024-06027-8>
- Sivasathiya, M., Ravi, H., Sunil, C., Anandakumar, S. y Natarajan, V. (2025). Characterization and utilization of Karpuravalli banana leaf wax to enhance the properties of

- biodegradable film from ripened banana peel powder. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06722-2>
- UNEP. (2023). Turning off the Tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy. <https://www.unep.org/resources/turning-off-tap-end-plastic-pollution-create-circular-economy>
- Varghese, S. A., Pulikkalparambil, H., Promhuad, K., Srisa, A., Laorenza, Y., Jarupan, L., Nampitch, T., Chonhenchob, V. y Harnkarnsujarit, N. (2023). Renovation of Agro-Waste for Sustainable Food Packaging: A Review. *Polymers*, 15(3), 648. <https://doi.org/10.3390/polym15030648>
- Verdi, A., de Souza, A., Rocha, D., de Oliveira, S., Alves, R. y dos Santos, D. (2021). Biodegradable films functionalized with Moringa oleifera applied in food packaging. *Iranian Polymer Journal*, 30(3), 235–246. <https://doi.org/10.1007/s13726-020-00885-7>
- Zhang, W., Wang, T., Jiang, Z., Gao, X., Sun, C. y Zhang, L. (2024). Green Preparation and Functional Properties of Reinforced All-Cellulose Membranes Made from Corn Straw. *Membranes*, 14(1), 16. <https://doi.org/10.3390/membranes14010016>