



Uso de los residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables: una revisión sistemática

Use of Agro-Industrial Residues in the Production of Biodegradable Packaging: A Systematic Review

Rocío Candiotti Bonzano¹ , Luis David Gómez Huamán¹ ,
Kenny Ruben Montalvo Morales¹ , Rafael Julian Malpartida Yapias¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Tarma, Perú

Autor de correspondencia

Luis David Gómez Huamán 

Historial del artículo

Recibido el 16 de diciembre de 2024 | Revisado el 26 de septiembre de 2025 | Aceptado el 1 de octubre de 2025

Referencia del artículo

Candiotti Bonzano, R. Gómez Huamán, L. D., Montalvo Morales, K. R., & Malpartida Yapias, R. J. (2025). Uso de los residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables: una revisión sistemática. *Revista Altoandina de Ciencias Agrarias*, 1(2), pp. 77-96. <https://doi.org/10.54943/recialcia.844>

RESUMEN

El objetivo de esta revisión sistemática fue explorar la literatura existente sobre el uso de residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables. La redacción científica cumplió con los elementos establecidos para revisiones sistemáticas; la búsqueda se realizó en diversas bases de datos hasta el 28 de mayo de 2024, con una restricción temporal comprendida entre los años 2014 y 2024. De un total de 664 estudios inicialmente identificados, se incluyeron aquellos que cumplían con los criterios de inclusión, quedando finalmente 37 estudios. Los trabajos analizados destacan que la incorporación de residuos como fibras de madera, residuos de cultivos y nanocristales de celulosa mejora las propiedades mecánicas y térmicas de los bioplásticos, incrementando su biodegradabilidad. Además, se observó que algunos bioplásticos pueden integrar propiedades adicionales, como actividad antioxidante y protección UV. Sin embargo, se identificaron limitaciones relacionadas con la variabilidad en la calidad de los residuos y la necesidad de optimizar los procesos de producción. En conclusión, el uso de residuos

agroindustriales en bioplásticos ofrece una solución prometedora para la sostenibilidad ambiental; no obstante, es necesario continuar investigando para optimizar sus propiedades y asegurar su viabilidad económica y ambiental.

Palabras clave: residuos agroindustriales; envases biodegradables; sostenibilidad ambiental

ABSTRACT

The objective of this systematic review was to explore the existing literature on the use of agro-industrial residues in the production of biodegradable packaging. The scientific writing followed the established elements for systematic reviews; the search was conducted across several databases up to May 28, 2024, with a time restriction covering the years 2014 to 2024. Out of a total of 664 studies initially identified, those meeting the inclusion criteria were selected, resulting in a final sample of 37 studies. The analyzed studies highlight that the incorporation of residues such as wood fibers, crop residues, and cellulose nanocrystals improves the mechanical and thermal properties of bioplastics, increasing their biodegradability. In addition, it was observed that some bioplastics can incorporate additional properties, such as antioxidant activity and UV protection. However, limitations were identified related to variability in residue quality and the need to optimize production processes. In conclusion, the use of agro-industrial residues in bioplastics offers a promising solution for environmental sustainability; nevertheless, further research is required to optimize their properties and ensure their economic and environmental viability.

Keywords: agro-industrial residues; biodegradable packaging; environmental sustainability

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el impacto ambiental del plástico ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles para los envases. En el año 2022, cada persona generó aproximadamente 55 kg de residuos plásticos, contribuyendo de manera significativa a la acumulación de desechos en el planeta (Derhab & Elkhwesky, 2022). Los plásticos derivados del petróleo, conocidos por su lenta degradación, causan efectos nocivos tanto en el medioambiente como en la salud humana (Del Rio et al., 2021). Para mitigar estos efectos, se ha promovido la producción de plásticos a partir de fuentes renovables, lo cual ofrece una solución potencialmente más sostenible (Thomas et al., 2023).

Los bioplásticos, fabricados a partir de polímeros biodegradables obtenidos de fuentes naturales, como el almidón de maíz, papa y residuos agrícolas, representan una alternativa viable a los plásticos convencionales (Reichert et al., 2020). Estos

materiales no solo son biodegradables, sino que también presentan un menor impacto ambiental, debido a su capacidad para descomponerse con mayor rapidez en condiciones naturales (Joseph et al., 2023).

El uso de residuos agroindustriales en la producción de envases biodegradables ha ganado atención en los últimos años. Diversos estudios han demostrado que materiales como las cáscaras de maíz, las cáscaras de girasol y otros subproductos agrícolas pueden transformarse en bioplásticos con propiedades mecánicas adecuadas para su uso en envases (Narancic et al., 2020; Fuentes et al., 2021). Estos envases no solo reducen la dependencia de plásticos derivados del petróleo, sino que también aprovechan residuos que, de otro modo, serían desechados, contribuyendo así a una economía circular (Meherishi et al., 2019).

Además, la producción de bioplásticos a partir de residuos agroindustriales no requiere inversiones significativas en nuevas infraestructuras, ya que estos pueden procesarse utilizando equipos existentes en la

industria del plástico (Del Rio et al., 2021). Esta característica facilita su adopción y escalamiento, promoviendo una transición hacia prácticas más sostenibles en la producción de envases (Reichert et al., 2020).

Esta revisión sistemática tiene como objetivo compilar y analizar estudios recientes sobre el uso de residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables. Se examinan los avances en las propiedades tecnológicas de estos materiales, así como su impacto en la reducción de la contaminación ambiental. A través de esta revisión, se busca proporcionar una visión integral de los beneficios y desafíos asociados con la producción de envases biodegradables a partir de residuos agrícolas, contribuyendo al desarrollo de estrategias sostenibles en la gestión de residuos y en la producción de plásticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión sistemática sobre el uso de residuos agroindustriales en la producción de envases biodegradables se realizó siguiendo un protocolo riguroso, basado en las directrices de la declaración Prisma (Page et al., 2021). Esta revisión se centró en la búsqueda en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS), para lo cual se utilizaron estrategias detalladas orientadas a garantizar la transparencia y la replicabilidad del proceso.

Para llevar a cabo la revisión sistemática sobre el uso de residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables, se empleó la subsiguiente estrategia de búsqueda en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS): TITLE-ABS-KEY ((agroindustrial OR agriculture) AND biodegradable AND packaging).

La búsqueda se restringió a artículos publicados en los últimos diez años, desde 2014 hasta el 28 de mayo de 2024, y se limitó a textos en inglés, con el fin de asegurar la homogeneidad del análisis. Los criterios de inclusión se centraron en estudios que ofrecieran datos empíricos sobre la

producción y el uso de bioplásticos en el contexto de la sostenibilidad ambiental. Se excluyeron revisiones, comentarios y estudios no pertinentes o que se encontraran fuera del intervalo temporal establecido.

Inicialmente, se recuperó una cantidad significativa de artículos, los cuales fueron analizados para determinar su relevancia mediante la revisión de títulos, resúmenes y palabras clave. Los estudios preseleccionados pasaron posteriormente a una evaluación más detallada de los textos completos. Finalmente, se seleccionaron 20 documentos para una revisión en profundidad, con base en su pertinencia y su contribución al campo de estudio.

Los datos se extrajeron utilizando un formulario estandarizado y la calidad de los estudios seleccionados se evaluó mediante criterios predefinidos. Los resultados se sintetizaron de manera cualitativa y cuantitativa, según la disponibilidad de datos, con el propósito de proporcionar una visión integral y objetiva del tema investigado.

Tabla 1. Cantidad de artículos reportados

Bases de datos consultados	Resultados
Scopus	401
Web of Science	263
Total	664

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión

Parámetros de inclusión	Parámetros de exclusión
Considerar artículos empíricos	Artículos de revisión
Resúmenes pertinentes al uso de residuos agroindustriales en envases biodegradables	Artículos publicados antes de 2014
Estudios publicados entre 2014 y 2024	Artículos en idiomas distintos del inglés

El diagrama de flujo Prisma presentado ilustra el proceso de selección de los estudios incluidos en la revisión sistemática sobre el

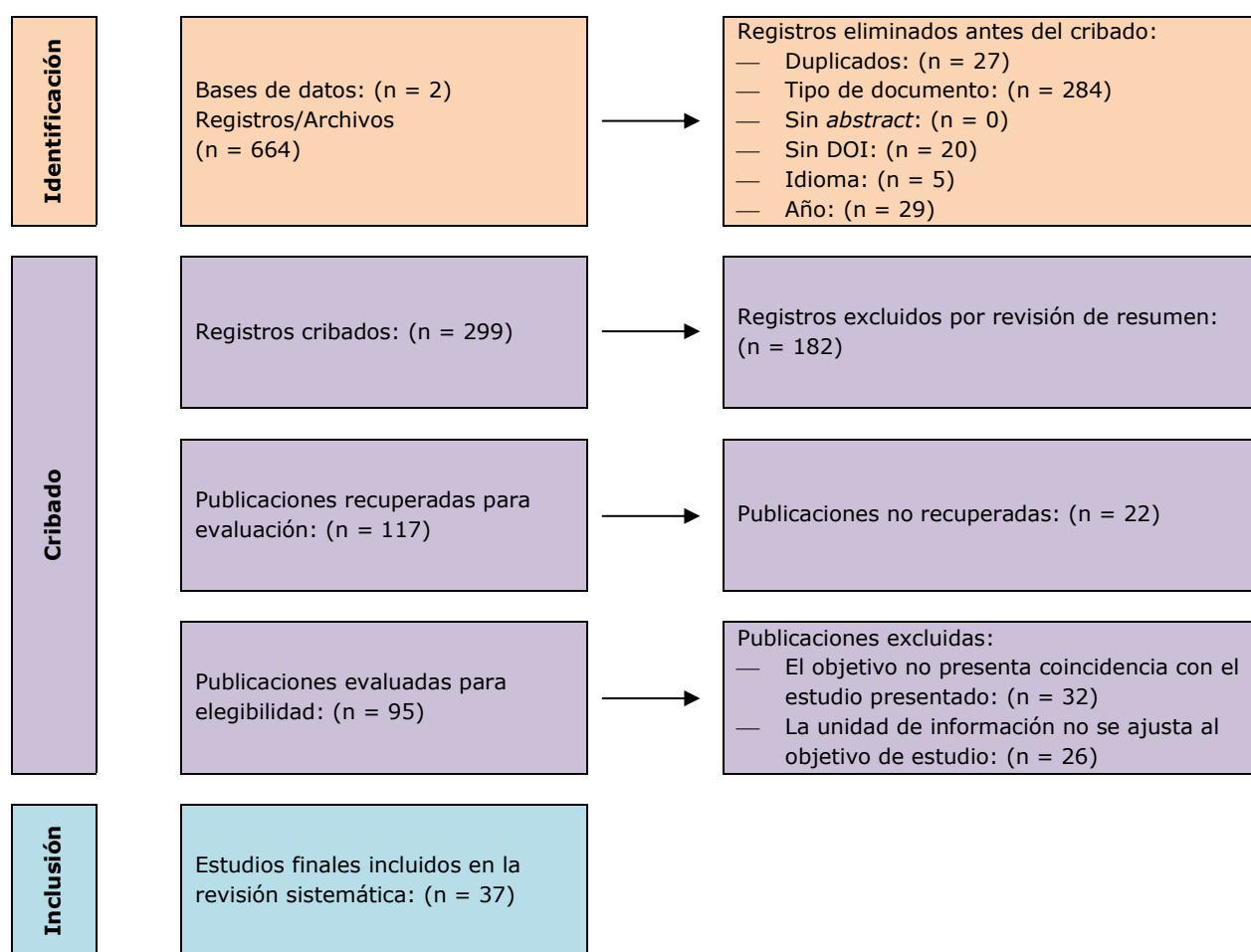
uso de residuos agroindustriales en la producción de envases biodegradables. Inicialmente, se identificaron 664 registros a partir de dos bases de datos. Antes del cribado, se eliminaron 27 duplicados, 284 registros por tipo de documento, 20 por falta de DOI, 5 por idioma y 29 por año, lo que dejó un total de 299 registros para el cribado.

Durante la fase de cribado, se excluyeron 182 registros tras la revisión de los resúmenes, lo que dio como resultado 117 publicaciones recuperadas para una

evaluación más detallada. De estas, 22 publicaciones no pudieron ser recuperadas, por lo que quedaron 95 publicaciones evaluadas para determinar su elegibilidad.

Finalmente, 37 estudios cumplieron con los criterios de inclusión y fueron seleccionados para integrar la revisión sistemática. Los estudios excluidos ($n = 58$) se descartaron debido a que 32 no coincidían con el objetivo del estudio presentado y 26 porque la unidad de información no se ajustaba al objetivo del estudio.

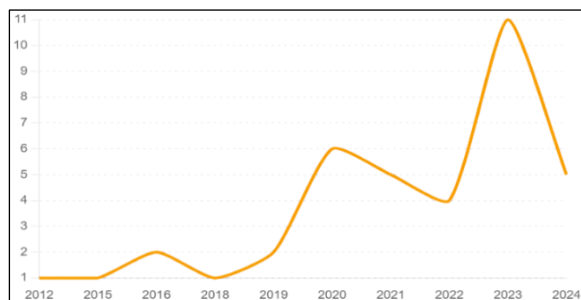
Figura 1. Diagrama de flujo Prisma



RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis.

Figura 2. Distribución de los artículos por años



Desde 2012 hasta 2019, la frecuencia de publicaciones fue relativamente baja y constante, con una o dos publicaciones por año. Sin embargo, a partir de 2020 se observa un incremento significativo, que alcanza su punto máximo en 2023, con 11 publicaciones. Este aumento refleja una mayor conciencia global sobre la necesidad de soluciones sostenibles y la implementación de políticas ambientales más estrictas. Asimismo, el año 2022 registró un número considerable de publicaciones ($n = 6$).

Tabla 3. Revistas identificadas

Revista	Cantidad	Porcentaje
<i>Chemical Engineering Transactions</i>	2	5.41
<i>Carbohydrate Polymers</i>	2	5.41
<i>Polymers</i>	2	5.41
<i>Science of the Total Environment</i>	2	5.41
<i>Journal of Applied Polymer Science</i>	2	5.41
<i>Iranian Polymer Journal (English Edition)</i>	2	5.41
<i>International Journal of Biological Macromolecules</i>	2	5.41
<i>Environmental Sciences Europe</i>	1	2.7
<i>Environmental Technology and Innovation</i>	1	2.7
<i>Food Packaging and Shelf Life</i>	1	2.7

<i>ACS Sustainable Chemistry and Engineering</i>	1	2.7
<i>Composites Science and Technology</i>	1	2.7
<i>Materials Research</i>	1	2.7
<i>Journal of Bioresources and Bioproducts</i>	1	2.7
<i>RSC Advances</i>	1	2.7
<i>Industrial Crops and Products</i>	1	2.7
<i>Trends in Food Science & Technology</i>	1	2.7
<i>WSEAS Transactions on Environment and Development</i>	1	2.7
<i>Materials Science Forum</i>	1	2.7
<i>Agrociencia</i>	1	2.7
<i>Fibers</i>	1	2.7
<i>Carbon</i>	1	2.7
<i>Journal of Polymers and the Environment</i>	1	2.7
<i>ACS Applied Polymer Materials</i>	1	2.7
<i>ACS Applied Bio Materials</i>	1	2.7
<i>Scientific Reports</i>	1	2.7
<i>Materials Research Express</i>	1	2.7
<i>Journal of Renewable Materials</i>	1	2.7
<i>Arabian Journal of Chemistry</i>	1	2.7
<i>International Journal of Food Science</i>	1	2.7
Total:	37	100 %

La Tabla 3 muestra la distribución de las 37 publicaciones en distintas revistas científicas. Las revistas con mayor número de artículos son *Chemical Engineering Transactions*, *Carbohydrate Polymers*, *Polymers*, *Science of the Total Environment*, *Journal of Applied Polymer Science*, *Iranian Polymer Journal (English Edition)* e *International Journal of Biological Macromolecules*, cada una con dos publicaciones, lo que representa el 5,41 % del total por revista. El resto de las revistas presenta una sola publicación, equivalente al 2,70 % del total.

Aladejana et al. (2020) revisaron la producción y las propiedades de tableros biocompuestos elaborados con fibras de paja, destacando el potencial de estos materiales para reemplazar fibras de madera convencionales en aplicaciones industriales y domésticas. El uso de residuos agrícolas en estos tableros contribuye a reducir la contaminación y a fomentar un entorno más limpio.

Yaradoddi et al. (2020) desarrollaron películas biodegradables a partir de carboximetilcelulosa (CMC) derivada de residuos agrícolas, específicamente de bagazo de caña de azúcar. Estas películas mostraron excelentes propiedades fisicoquímicas y alta biodegradabilidad, presentándose como una alternativa económica y ambientalmente compatible para el empaquetado.

Elsacker et al. (2020) evaluaron materiales basados en micelio, subrayando el potencial de estos compuestos para diversas aplicaciones, entre ellas materiales de construcción y empaques. Su estudio proporciona un marco estandarizado para futuras investigaciones y para el diseño de nuevas aplicaciones, promoviendo la sostenibilidad.

Joshi et al. (2020) investigaron la fabricación de «biobloques» a partir de micelio de *Pleurotus ostreatus* y residuos agrícolas, obteniendo materiales con estabilidad térmica, propiedades hidrofóbicas y resistencia mecánica comparables a las del poliestireno, lo que ofrece una alternativa biodegradable y sostenible para el embalaje.

Pratelli et al. (2022) analizaron la cadena de suministro de residuos plásticos agrícolas, proponiendo mejoras logísticas y

metodológicas para su gestión y reciclaje. Este estudio sugiere que la sustitución de plásticos convencionales por materiales biodegradables puede constituir una solución viable para la sostenibilidad agrícola.

Ferreira et al. (2023) revisaron casos de estudio sobre la valorización de residuos agroindustriales para la producción de biopolímeros y empaques biodegradables, destacando el bagazo de caña de azúcar como una fuente prometedora. Este enfoque promueve la reducción del impacto ambiental y el desarrollo de productos de alto valor añadido.

Ahmed et al. (2023) desarrollaron películas biodegradables a partir de fibras de lignocelulosa de paja de trigo, utilizando un proceso verde y un entrecruzamiento con iones de calcio. Estas películas mostraron alta resistencia, transparencia y biodegradación en menos de un mes, ofreciendo una alternativa prometedora a los polímeros sintéticos.

Kampeerapappun et al. (2024) investigaron biocompuestos de ácido poliláctico (PLA) mezclado con paja de arroz, obteniendo materiales con mejor hidrofobicidad, menor tasa de flujo de fusión, así como adecuada estabilidad térmica y resistencia a la tracción. Estos biocompuestos constituyen una opción ambientalmente amigable para la fabricación de contenedores de alimentos biodegradables.

En conjunto, estos estudios destacan la importancia de los residuos agroindustriales en el desarrollo de materiales biodegradables, subrayando su potencial para reemplazar los plásticos convencionales y contribuir de manera significativa a la sostenibilidad ambiental y a la economía circular.

Tabla 4. Matriz de síntesis de los 37 artículos incluidos

N.º	Autor(es) y título	Método	Resultados	Aporte del estudio
1.	Seggiani et al. (2015). Desarrollo de compuestos biodegradables reforzados con fibras	Investigación de mezclas de poli(3-hidroxibutirato) (PHB) con fibras de madera y polietilenglicol (PEG) como agente lubricante, utilizando	Las mezclas de PHB y fibras de madera resultaron compostables y biodegradables en suelo, con buena cohesión, aunque con	Las mezclas de PHB con fibras naturales mejoran la biodegradabilidad y reducen costos, siendo adecuadas para aplicaciones en

		extrusión y análisis por DSC, SEM, DMTA y ensayos de tracción.	baja elongación a la rotura.	agricultura y empaques biodegradables.
2.	Valdés y Garrigós (2016). Biomateriales avanzados a base de carbohidratos para la sostenibilidad alimentaria	Revisión del metabolismo de la pared celular, así como de la extracción e hidrólisis de polisacáridos en microorganismos y plantas, orientada al desarrollo de nuevos biomateriales basados en carbohidratos.	Las propiedades nutricionales y de procesamiento de los alimentos de origen vegetal están influenciadas por las características de la pared celular.	Los materiales avanzados basados en celulosa ofrecen nuevas oportunidades para la sostenibilidad de alimentos frescos o procesados, reduciendo la dependencia de plásticos derivados del petróleo.
3.	Seggiani et al. (2016). Valorización microbiológica de biocompuestos a base de ácido poliláctico y fibra de madera	Desarrollo de biocompuestos mediante el uso de fibras de madera con matrices poliméricas compostables, como PLA y PBAT, evaluando su biodegradabilidad y reciclabilidad.	Los biocompuestos resultaron biodegradables y compostables, con potencial para aplicaciones en empaques alimentarios, agricultura y componentes automotrices.	Proporciona alternativas sostenibles para materiales de un solo uso, promoviendo la economía circular a través del compostaje y otras vías de valorización.
4.	Mostafa et al. (2018). Producción de plástico biodegradable a partir de residuos agrícolas	Producción de biopolímero de acetato de celulosa a partir de fibras de lino y linters de algodón, caracterizados mediante XRD, FT-IR y GPC.	El acetato de celulosa obtenido es biodegradable y presenta resistencia a ácidos y sales, siendo menos afectado por ácidos en comparación con el polipropileno y el poliestireno.	Ofrece un método eficiente para producir bioplásticos a partir de residuos agrícolas, adecuados para aplicaciones en la industria alimentaria y médica.
5.	Leites et al. (2019). Influencia del tamaño de las partículas de residuos agroindustriales de arándano y jaboticaba en el cambio de color de películas a base de almidón de maíz sometidas a soluciones con diferentes valores de pH	Producción de películas a base de almidón de maíz con residuos agroindustriales de arándano y jaboticaba, evaluando su capacidad como indicadores colorimétricos.	Las películas mostraron cambios de color perceptibles visualmente en soluciones tampón con diferentes valores de pH, lo que evidencia su potencial como indicadores de pH.	Los compuestos de antocianinas presentes en los residuos de jugo de arándano y jaboticaba exhiben un alto potencial para el desarrollo de empaques inteligentes.
6.	Li et al. (2019). Utilización directa y completa de la paja agrícola para fabricar láminas totalmente de biomasa con propiedades de alta resistencia, alto	Conversión directa de paja agrícola en películas de biomasa multifuncionales mediante disolución en líquido iónico y regeneración en agua.	Las películas de biomasa presentaron alta resistencia mecánica y capacidad de bloqueo de radiación UV, conservando todos los componentes de la paja.	Demuestra la utilización integral de biorrecursos de bajo grado para fabricar películas de biomasa de alta resistencia y amigables con el medioambiente.

	brillo y protección contra los rayos UV.			
7.	Aladejana et al. (2020). Principales avances en el desarrollo de tableros biocompuestos de fibra de paja: una visión general	Revisión de metodologías de producción y de las propiedades de tableros biocompuestos elaborados con fibras de paja (trigo, arroz y maíz) para diversas aplicaciones.	Las fibras de paja pueden reemplazar a las fibras de madera convencionales en la producción de tableros biocompuestos.	Promueve el uso de residuos agrícolas para la creación de materiales sostenibles, reduciendo la contaminación y fomentando un entorno más limpio.
8.	Yaradoddi et al. (2020). Material biodegradable a base de carboximetilcelulosa para aplicaciones de envasado sostenible	Desarrollo de películas biodegradables a partir de carboximetilcelulosa (CMC) derivada de residuos agrícolas (bagazo de caña de azúcar), mezclada con gelatina, agar y distintas concentraciones de glicerol, y caracterización mediante FTIR, DSC y TGA.	La muestra con un 2,0 % de glicerol presentó mejores propiedades fisicoquímicas y mayor biodegradabilidad en pruebas de enterramiento en suelo.	Ofrece un enfoque novedoso para convertir residuos orgánicos en materiales de embalaje biodegradables, reduciendo costos y mejorando la compatibilidad ambiental.
9.	Lai et al. (2020). Rigidez, refuerzo y endurecimiento de poli(adipato de butileno-co-tereftalato) biodegradable con bajo uso de nano inclusiones	Refuerzo de PBAT biodegradable con nanocristales de celulosa (CNC) mediante una estrategia de polimerización por injerto <i>in situ</i> , evaluando las propiedades mecánicas y de barrera del compuesto.	Se observó una mejora simultánea del módulo de Young en un 26 %, de la resistencia a la tracción en un 27 %, de la elongación en un 37 % y de la tenacidad en un 56 %, con una carga de CNC del 0,02 %.	Demuestra una alta eficiencia de refuerzo en nanocompuestos biodegradables, promoviendo su uso en aplicaciones de embalaje y agricultura con una cantidad mínima de nano inclusiones.
10.	Joshi et al. (2020). Fabricación y caracterización de biobloques a partir de residuos agrícolas utilizando micelio fúngico para aplicaciones renovables y sostenibles	Investigación sobre el crecimiento y la morfología del micelio de <i>Pleurotus ostreatus</i> en diferentes residuos agrícolas, así como la fabricación de «biobloques» biodegradables mediante síntesis verde.	Los biobloques presentaron excelente estabilidad térmica, propiedades hidrofóbicas y una resistencia mecánica superior a la de materiales de embalaje como el poliestireno.	Proporciona una alternativa biodegradable y sostenible a los materiales de embalaje no biodegradables, con aplicaciones potenciales en embalaje, paneles de pared y filtración de residuos tóxicos.
11.	Elsacker et al. (2020). Un marco global para la producción de compuestos lignocelulósicos a base de micelio	Revisión crítica de datos existentes sobre la composición y las variables de proceso de materiales basados en micelio, con el objetivo de proporcionar un marco comprensivo para su producción.	Se identificaron factores de entrada que inciden en las características finales del material, destacándose el potencial de los materiales basados en micelio para diversas aplicaciones.	Proporciona un marco estandarizado para estudios futuros y para el diseño de nuevas aplicaciones de materiales basados en micelio, promoviendo una economía circular.
12.	De Azevedo et al. (2020). Films biodegradables derivados de fécula de maíz y patata y estudio del efecto del silicato extraído	Preparación de bioplásticos biodegradables basados en almidón de maíz y patata, con la adición de una solución de silicato de sodio extraído de cenizas de bagazo de caña de	Los bioplásticos elaborados con almidón de maíz presentaron mejores propiedades físicas y térmicas, así como una biodegradación más lenta, en	Sugiere que los silicatos de sodio de origen renovable pueden incorporarse en bioplásticos basados en almidón para producir embalajes

	de cenizas de residuos de caña de azúcar	azúcar, evaluando sus propiedades físicas y su biodegradabilidad.	comparación con los de almidón de patata.	biodegradables con actividad antifúngica.
13.	Santos et al. (2021). Desarrollo y optimización de envases antioxidantes a partir de residuos agroindustriales	Producción de películas biodegradables con capacidad antioxidante a partir de residuos agroindustriales de cáscara de jaboticaba, mango y tallo de brócoli, utilizando un diseño compuesto central para la evaluación de propiedades.	La cáscara de mango mostró la mayor capacidad antioxidante, obteniéndose películas optimizadas con adecuadas propiedades mecánicas y antioxidantes.	Proporciona una alternativa para reemplazar los embalajes plásticos convencionales por películas biodegradables y antioxidantes derivadas de residuos agroindustriales.
14.	Versino et al. (2021). Subproducto de la industria del aceite de girasol como relleno natural de espumas biocompuestas para aplicaciones de envasado	Estudio de espumas compuestas basadas en almidón de yuca y torta de prensa de aceite de girasol, utilizando urea como aditivo para mejorar la capacidad de espumado.	Las bioespumas con urea presentaron propiedades mecánicas comparables a las espumas de poliestireno, así como una mayor capacidad de absorción de agua.	Desarrolla espumas biodegradables mediante el uso de residuos agroindustriales, ofreciendo alternativas sostenibles para el embalaje de alimentos.
15.	Li et al. (2021). Mejora sinérgica de la barrera al gas y la resistencia al envejecimiento de películas biodegradables con nanohojas de grafeno alineadas	Preparación de nanocompuestos de PBAT con láminas de grafeno alineadas para mejorar las propiedades de barrera al gas y la resistencia a la degradación UV.	Se registró una disminución del 80 % en la permeabilidad al vapor de agua y de más del 99 % en la permeabilidad al oxígeno, con mantenimiento de las propiedades mecánicas tras 200 horas de envejecimiento.	Proporciona una estrategia para desarrollar películas de embalaje sostenibles con propiedades de barrera mejoradas mediante la incorporación controlada de nanoláminas de grafeno.
16.	Bhavsar et al. (2021). Biocomposites reforzados con fibra de lana de desecho procesada de forma sostenible para aplicaciones agrícolas y de envasado	Producción de biocompuestos reforzados con fibras de lana de desecho mediante un proceso de hidrólisis sostenible con agua sobrecalentada, evaluando sus propiedades mecánicas y de biodegradabilidad.	Los biocompuestos mostraron biodegradabilidad completa en 90 días, aumentando la hidrofobicidad y la homogeneidad del material.	Propone un uso sostenible de la lana de desecho para la producción de biocompuestos ecológicos destinados a aplicaciones agrícolas y de embalaje.
17.	Rives Castillo et al. (2021). Análisis químicos proximados y térmicos de la harina de productos residuales de <i>pear-cactus</i> (<i>opuntia ficus-indica</i>) para la obtención de compuestos poliméricos biobasados	Análisis químico proximal y térmico de harinas provenientes de subproductos de nopal para su uso en compuestos biopoliméricos, evaluando características relevantes para envases biodegradables.	Las harinas de nopal presentaron buenas propiedades térmicas y capacidad de integrarse en matrices poliméricas sin descomposición	Proporciona una solución para el aprovechamiento de subproductos de nopal en la producción de materiales biobasados, contribuyendo a la sostenibilidad y a la reducción del uso de plásticos convencionales.

18.	Tapia-Blácido et al. (2022). Tendencias y retos de las espumas a base de almidón para su uso como envase y contenedor de alimentos	Revisión de estrategias orientadas a mejorar las propiedades mecánicas, la procesabilidad y la actividad antimicrobiana de espumas a base de almidón, incluida la adición de residuos agroindustriales y otros polímeros.	La incorporación de residuos agroindustriales mejoró la resistencia al agua y las propiedades mecánicas de las espumas de almidón.	Propone soluciones económicas y sostenibles para reemplazar el EPS en empaques, y destaca la necesidad de profundizar en estudios sobre espumas bioactivas con propiedades antivirales.
19.	Pratelli et al. (2022). Gestión de residuos plásticos agrícolas	Análisis de la cadena de suministro de residuos plásticos agrícolas, con exploración de enfoques logísticos y metodologías para optimizar su gestión y reciclaje.	Se identificaron soluciones viables para mejorar la recolección, el transporte y el reciclaje de residuos plásticos agrícolas, promoviendo su sustitución por plásticos biodegradables.	Proporciona un marco de referencia para fortalecer la logística y la gestión de residuos plásticos en la agricultura, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.
20.	Castillo-Díaz et al. (2022). Impacto de las nuevas medidas relacionadas con la economía circular en la gestión de los envases de agroquímicos en la agricultura española y el uso de plásticos biodegradables	Evaluación del sistema de gestión de envases agrícolas en España, considerando variables como el precio del petróleo, la superficie cultivada y el régimen de riego.	El sistema actual de subsidios puede mitigar parcialmente el costo adicional asociado al uso de plásticos biodegradables; no obstante, se requieren mayores incentivos.	Sugiere ajustes en los subsidios y un enfoque diferenciado según las características agrícolas para mejorar la gestión de residuos de envases agrícolas y contribuir al cumplimiento de la Agenda 2030.
21.	Engel et al. (2022). Hacer realidad la reutilización de residuos agroindustriales en el sector de los envases a base de almidón: un estudio de caso de almacenamiento de tarta de zanahoria y tomates <i>cherry</i>	Desarrollo de espumas biodegradables mediante termocompresión de corteza interna de yuca y tallos de uva, evaluando las propiedades mecánicas y la capacidad de almacenamiento de alimentos.	Las espumas demostraron buena resistencia mecánica y baja absorción de agua, por lo que resultaron adecuadas para el almacenamiento de pasteles de zanahoria y tomates <i>cherry</i> .	Proporciona una alternativa ambientalmente amigable para empaques biodegradables, manteniendo la calidad y frescura de los alimentos.
22.	Ferreira et al. (2023). Planteamientos sostenibles para solucionar el problema de los residuos agrícolas: envases biodegradables y bioproducción microbiana de polisacáridos	Revisión de casos de estudio sobre la valorización de residuos industriales y agroalimentarios para la producción de biopolímeros y empaques biodegradables.	Los residuos agroindustriales —como el bagazo de caña de azúcar— pueden constituir fuentes prometedoras para el desarrollo de biopolímeros y bioplásticos.	Promueve el uso de residuos agroindustriales para reducir el impacto ambiental y desarrollar productos de alto valor añadido.
23.	Rajesh et al. (2023). Poli(ácido láctico) endurecido	Modificación del PLA mediante mezcla con aceite de neem epoxidado	El sistema PLA/ENO mostró un aumento significativo de la	Proporciona una opción ecológica y eficiente para aplicaciones

	con aceite de neem epoxidado de origen biológico para aplicaciones agrícolas: propiedades mecánicas, térmicas y de compostabilidad	(ENO), evaluando sus propiedades mecánicas y su biodegradabilidad.	resistencia al impacto y de la elongación a la rotura, con una biodegradabilidad del 90 % en 96 días.	agrícolas —como bolsas de vivero—, mejorando las propiedades del PLA.
24.	Salazar-Bravo et al. (2023). Membranas de PVA <i>electrospun</i> reforzadas con nanocristales de celulosa y óxido de grafeno reducido térmicamente: propiedades térmicas, mecánicas y de protección contra los rayos UV	Producción de membranas electrohiladas de PVA con nanocelulosa cristalina (CNC) y óxido de grafeno reducido (TrGO), evaluando la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas.	Las membranas compuestas mostraron una mejora de la estabilidad térmica, de las propiedades mecánicas y de la protección UV, además de una reducción de la absorción de humedad.	Presenta una estrategia prometedora para el desarrollo de materiales de embalaje biodegradables con propiedades mejoradas.
25.	Rincón et al. (2023). Aumento de las propiedades funcionales de las películas de CMC activa reforzadas con nanofibras de celulosa derivadas de residuos agrícolas	Evaluación de películas de CMC con ácido gálico y nanofibras de celulosa, analizando propiedades mecánicas, permeabilidad y actividad antioxidante.	Las películas bioactivas mejoraron las propiedades mecánicas, la barrera UV y la actividad antioxidante, con alta capacidad antimicrobiana.	Proporciona una solución para empaques activos que extienden la vida útil de los alimentos, utilizando residuos agrícolas como refuerzos.
26.	Peng et al. (2023). Desarrollo y caracterización de biocompuestos de micelio mediante la utilización de diferentes subproductos residuales agrícolas	Desarrollo de biocompuestos de micelio mediante la incubación de <i>Pleurotus ostreatus</i> en diferentes residuos agrícolas, evaluando propiedades mecánicas e hidrofóbicas.	Los biocompuestos de micelio presentaron propiedades comparables a las de los materiales de embalaje de poliestireno expandido (EPS).	Propone una alternativa biodegradable para materiales de embalaje, basada en el uso de subproductos agrícolas y en la promoción de la sostenibilidad.
27.	Duong et al. (2023). Fabricación de aerogeles compuestos de celulosa y quitosano a partir de residuos agrícolas para el envasado de alimentos	Síntesis de aerogeles de celulosa–quitosano a partir de residuos agrícolas para aplicaciones en empaques de alimentos, evaluando propiedades mecánicas y de absorción.	Los aerogeles mostraron alta porosidad, resistencia térmica y capacidad para inhibir el crecimiento de moho en carnes frescas.	Ofrece una solución prometedora para empaques de alimentos frescos, mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas y la mejora de la sostenibilidad y la biocompatibilidad.
28.	Conceição et al. (2023). Un compuesto biodegradable de poli (3-hidroxibutirato-co-	Formulación de empaques rígidos con PHBV y residuos de celulosa, utilizando un molino analítico para favorecer la	Las fibras de celulosa incrementaron el punto de ablandamiento Vicat y la cristalinidad del PHBV; sin embargo, disminuyeron la	La integración de celulosa mejora la procesabilidad y la estabilidad térmica del PHBV, lo que sugiere su potencial para

	3-hidroxivalerato) (PHBV) con fibra corta de celulosa para envasado	dispersión de las fibras de celulosa.	resistencia al impacto debido a la formación de aglomerados.	empaques biodegradables.
29.	Adnan et al. (2023). Caracterización y optimización de procesos para mejorar la producción de polímeros biodegradables basados en polihidroxibutirato (PHB) a partir de <i>Bacillus flexus</i> aislado de vertederos municipales de residuos sólidos	Aislamiento de bacterias productoras de PHB a partir de muestras de suelo de vertedero, utilizando residuos agrícolas como fuente de carbono y optimizando el proceso mediante un diseño Box-Behnken.	<i>Bacillus flexus</i> mostró la mayor producción de PHB al emplear residuos agrícolas, con un aumento significativo del rendimiento tras la optimización de las condiciones de síntesis.	Promueve la producción industrial de PHB a partir de residuos agrícolas, ofreciendo una alternativa biodegradable a los plásticos sintéticos.
30.	Poudel y Karak (2023). Composite verde sostenible de fibra de ñame y residuos agrícolas de tallo de maíz con buenas prestaciones mecánicas, térmicas, ópticas, de envejecimiento y excelente biodegradabilidad	Preparación de un compuesto verde de almidón de ñame y fibra de tallo de maíz tratada alcalinamente, mediante la técnica de <i>casting</i> en solución y secado en horno.	Los compuestos presentaron buenas propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia al envejecimiento UV, junto con una biodegradabilidad excelente en condiciones ambientales.	Proporciona una alternativa sostenible y económica para sustituir compuestos sintéticos en diversas aplicaciones, incluidas las de empaques y construcción.
31.	Li et al. (2023) Bioplásticos PLA/PBAT biodegradables, incoloros e inodoros incorporados con rastrojo de maíz	Mejora del color y olor de bioplásticos basados en lignocelulosa de rastrojo de maíz mediante oxidación alcalina con peróxido de hidrógeno y su posterior mezcla con matrices PLA/PBAT.	Los bioplásticos modificados mostraron mejor color, menor olor, alta resistencia a la tracción y a la elongación, así como propiedades hidrofóbicas adecuadas.	Presenta bioplásticos atractivos y biodegradables, económicamente competitivos, como alternativa sostenible a los plásticos convencionales.
32.	Mostafa et al. (2023). Propiedades estructurales, mecánicas, antioxidantes y antibacterianas de las películas de envasado de alimentos comestibles a base de aislado de proteína de soja (SPI) influenciadas por nanocelulosa	Adición de nanopartículas de celulosa y compuestos fenólicos extraídos de hojas de palmera datilera a películas de proteína de soja (SPI), con el fin de mejorar sus propiedades.	Las películas de SPI mejoradas presentaron propiedades mecánicas y de barrera destacables, así como actividad antioxidante y antibacteriana significativa.	Proporciona una estrategia efectiva para el aprovechamiento de residuos agrícolas en el desarrollo de empaques alimentarios activos y ambientalmente amigables.

	(NC) y compuestos fenólicos extraídos en verde de hojas de palmera datilera.			
33.	Zhang et al. (2024). Preparación y caracterización de una película biodegradable antiultravioleta y antideslizante de base verde	Desarrollo de películas multifuncionales biodegradables a partir de PBAT, celulosa microfibrilada (MFC) y proteína de soja (SPI), junto con otros agentes funcionales.	Las películas mostraron mejoras en la estabilidad térmica, la preservación del calor, las propiedades antigoteo y la resistencia a la radiación UV.	Ofrece una solución multifuncional para empaques agrícolas y alimentarios biodegradables.
34.	Xu et al. (2024). De los residuos a las biopelículas ecológicas: aprovechamiento de las proantocianidinas de la cáscara de algodón para encontrar soluciones sostenibles	Extracción de proantocianidinas de cascarillas de semilla de algodón y su incorporación en películas de quitosano (CS) destinadas a empaques biodegradables.	Las películas presentaron mejoras en el espesor, la resistencia al vapor de agua, la solubilidad y la transmisión de luz visible, lo que permitió extender la vida útil de los arándanos.	Propone una solución innovadora para la gestión de residuos y el desarrollo de empaques biodegradables con capacidad antioxidante.
35.	Ahmed et al. (2024). Películas biodegradables a partir de fibras lignocelulósicas de biomasa de paja de trigo y efecto de los iones calcio	Desarrollo de películas biodegradables a partir de fibras lignocelulósicas de paja de trigo mediante un proceso verde y su entrecruzamiento con iones calcio.	Las películas mostraron alta resistencia, buena transparencia y biodegradación en suelo en un periodo inferior a un mes.	Ofrece una alternativa prometedora a los polímeros sintéticos para la obtención de empaques resistentes y biodegradables.
36.	Sayanjali et al. (2024). Extracción y caracterización de celulosa de tallos de brócoli como nueva fuente de biopolímeros para producir películas de carboximetilcelulosa	Producción de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de tallos de brócoli mediante una reacción de carboximetilación.	Las películas de CMC presentaron alta resistencia a la tracción y a la elongación, así como elevada permeabilidad al vapor de agua.	Propone una nueva fuente de celulosa para materiales de empaques biodegradables, promoviendo la reutilización de residuos alimentarios.
37.	Kampeerapappun et al. (2024). Biocompuesto a base de ácido poliláctico y paja de arroz para productos de envasado alimentario	Producción de biocompuestos de PLA mezclados con paja de arroz mediante el uso de un extrusor de doble tornillo y un proceso de inyección.	Los biocompuestos mostraron una disminución de la tasa de flujo de fusión, así como de la estabilidad térmica y de la resistencia a la tracción; no obstante, presentaron una mejora en la hidrofobicidad.	Ofrece una alternativa ambientalmente amigable para contenedores de alimentos biodegradables, contribuyendo a la mitigación de la contaminación derivada de la quema de paja de arroz.

Nota. Elaboración propia sobre la base de los manuscritos revisados.

DISCUSIÓN

La utilización de residuos agroindustriales para la elaboración de envases biodegradables ha captado la atención de numerosos investigadores, debido a la urgente necesidad de reducir la dependencia de plásticos derivados del petróleo y de mitigar el impacto ambiental de los residuos plásticos (Fuentes et al., 2015). Diversos estudios han abordado este desafío desde distintos enfoques, explorando la viabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad de estos materiales innovadores.

Seggiani et al. (2015) y Seggiani et al. (2016) analizaron la integración de fibras de madera en biocompuestos y encontraron que dicha incorporación mejora significativamente la biodegradabilidad de los materiales. No obstante, mientras Seggiani et al. (2015) señalaron una limitación en la elongación a la rotura de los biocompuestos, Seggiani et al. (2016) destacaron el potencial de estos materiales para aplicaciones más amplias — incluido el sector automotriz— gracias a sus propiedades mecánicas mejoradas.

Valdés y Garrigós (2016), así como Mostafa et al. (2018), estudiaron bioplásticos basados en carbohidratos y en residuos agrícolas, respectivamente, y demostraron que ambos tipos de materiales pueden constituir alternativas viables a los plásticos tradicionales en la industria alimentaria. Mientras Valdés y Garrigós se centraron en las propiedades nutricionales y de procesamiento de los alimentos, Mostafa et al. subrayaron la resistencia de sus bioplásticos frente a ácidos y sales, lo que evidencia diferencias relevantes en las propiedades finales de los materiales.

Leites et al. (2019) y Lai et al. (2020) investigaron la mejora de las propiedades de los bioplásticos mediante la adición de componentes agregados, como residuos agroindustriales y nanocristales de celulosa, respectivamente. Ambos estudios lograron mejoras significativas en la resistencia mecánica y la durabilidad de los materiales. Sin embargo, Leites et al. se enfocaron en el

desarrollo de empaques inteligentes con propiedades colorimétricas, mientras que Lai et al. demostraron que una cantidad mínima de nano inclusiones puede incrementar notablemente la tenacidad de los bioplásticos.

Joshi et al. (2020) y Rajesh et al. (2023) exploraron métodos innovadores para mejorar los bioplásticos mediante el uso de residuos agrícolas y aceites epoxidados, respectivamente. En ambos casos, se evidenció que estos enfoques no solo mejoran la resistencia y la durabilidad de los materiales, sino que también incrementan su biodegradabilidad. Joshi et al. enfatizaron la estabilidad térmica y las propiedades hidrofóbicas de sus biobloques, mientras que Rajesh et al. destacaron la mejora en la biodegradabilidad y en las propiedades antimicrobianas.

Rincón et al. (2023) y Mostafa et al. (2018) investigaron el refuerzo de bioplásticos con nanofibras de celulosa y fibras naturales, respectivamente, y observaron mejoras en las propiedades mecánicas y en la protección frente a la radiación UV. Mientras Rincón et al. se centraron en la actividad antioxidante y en la extensión de la vida útil de los alimentos, Mostafa et al. enfatizaron la resistencia a tratamientos químicos y la biodegradabilidad de los materiales.

CONCLUSIONES

En la presente revisión sistemática sobre el uso de residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables se evidencia que la integración de estos residuos en la producción de bioplásticos constituye una solución prometedora para abordar la creciente problemática ambiental generada por los plásticos convencionales. Diversos estudios han demostrado que la incorporación de materiales como fibras de madera, residuos de cultivos y nanocristales de celulosa no solo mejora las propiedades mecánicas y térmicas de los bioplásticos, sino que también incrementa su biodegradabilidad, lo que los hace adecuados

para aplicaciones en la industria alimentaria, agrícola y en otros sectores.

El análisis comparativo de los estudios revisados revela que, si bien existen diferencias en los enfoques y en los materiales utilizados, todos coinciden en la necesidad de desarrollar métodos innovadores para optimizar las propiedades de los bioplásticos. La adición de componentes como aceites epoxidados, nanofibras y residuos agroindustriales ha demostrado ser efectiva para mejorar la resistencia, la durabilidad y la estabilidad térmica de estos materiales. Asimismo, algunos estudios destacan la capacidad de estos bioplásticos para incorporar propiedades adicionales, como actividad antioxidante y protección UV, lo que amplía su campo de aplicación.

A pesar de los avances significativos, también se identifican limitaciones y vacíos en la investigación actual. La variabilidad en la calidad y disponibilidad de los residuos agroindustriales, así como la necesidad de optimizar los procesos de producción para garantizar la consistencia de las propiedades de los bioplásticos, son aspectos que requieren mayor atención. Del mismo modo, resulta fundamental realizar más estudios a escala industrial para evaluar la viabilidad económica y ambiental de estos materiales en contextos reales.

En definitiva, el uso de residuos agroindustriales en la elaboración de envases biodegradables representa una oportunidad valiosa para avanzar hacia una economía circular y reducir la dependencia de plásticos basados en fuentes fósiles. No obstante, es indispensable continuar investigando y desarrollando tecnologías que optimicen tanto las propiedades como la sostenibilidad de estos bioplásticos, a fin de asegurar su adopción generalizada y su impacto positivo en el medioambiente.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

- Adnan, M., Siddiqui, A. J., Ashraf, S. A., Snoussi, M., Badraoui, R., Ibrahim, A. M. M., Alreshidi, M., Sachidanandan, M., & Patel, M. (2023). Characterization and Process Optimization for Enhanced Production of Polyhydroxybutyrate (PHB)-Based Biodegradable Polymer from *Bacillus flexus* Isolated from Municipal Solid Waste Landfill Site. *Polymers*, 15(6), 1407.
<https://doi.org/10.3390/polym15061407>
- Ahmed, S., Janaswamy, S., & Yadav, M. P. (2024). Biodegradable films from the lignocellulosic fibers of wheat straw biomass and the effect of calcium ions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264, 130601.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130601>
- Aladejana, J. T., Wu, Z., Fan, M., & Xie, Y. (2020). Key advances in development of straw fibre bio-composite boards: An overview. *Materials Research Express*, 7(1), 012005.
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab66ec>
- Bhavsar, P., Balan, T., Dalla Fontana, G., Zoccola, M., Patrucco, A., & Tonin, C. (2021). Sustainably Processed Waste Wool Fiber-Reinforced Biocomposites for Agriculture and Packaging Applications. *Fibers*, 9(9), 55.
<https://doi.org/10.3390/fib9090055>
- Castillo-Díaz, F. J., Belmonte-Ureña, L. J., Batlles-de-laFuente, A., & Camacho-Ferre, F. (2022). Impact of the new measures related to the circular economy on the management of agrochemical packaging in Spanish agriculture and the use of

- biodegradable plastics. *Environmental Sciences Europe*, 34(1), 94.
<https://doi.org/10.1186/s12302-022-00671-7>
- Conceição, M. N., Dos Santos, M. C. C., Mancipe, J. M. A., Pereira, P. S. C., Ribeiro, R. C. C., Thiré, R. M. S. M., & Bastos, D. C. (2023). A Biodegradable Composite of Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) with Short Cellulose Fiber for Packaging. *Materials Research*, 26(suppl. 1).
<https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2022-0615>
- De Azevedo, L. C., Rovani, S., Santos, J. J., Dias, D. B., Nascimento, S. S., Oliveira, F. F., Silva, L. G. A., & Fungaro, D. A. (2020). Biodegradable Films Derived from Corn and Potato Starch and Study of the Effect of Silicate Extracted from Sugarcane Waste Ash. *ACS Applied Polymer Materials*, 2(6), 2160-2169.
<https://doi.org/10.1021/acsapm.0c00124>
- Del Rio, L. L., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. D. (2021). The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: Applications in the Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. *Molecules*, 26(2), 515.
<https://doi.org/10.3390/molecules26020515>
- Derhab, N., & Elkhwesky, Z. (2022). A systematic and critical review of waste management in micro, small and medium-sized enterprises: future directions for theory and practice. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 13920-13944.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-24742-7>
- Duong, Y. H. P., Le, T. M., Le, P. K., & Tran, V. T. (2023). Fabrication of cellulose-chitosan composites aerogel from agricultural wastes for food packaging. *Iranian Polymer Journal*, 32(9), 1199-1208.
<https://doi.org/10.1007/s13726-023-01192-7>
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., & Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment*, 725, 138431.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138431>
- Engel, J. B., Luchese, C. L., & Tessaro, I. C. (2022). Making the reuse of agro-industrial wastes a reality for starch-based packaging sector: A storage case study of carrot cake and cherry tomatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 740-749.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.074>
- Ferreira, D. C. M., Dos Santos, P. N., Santos, F. H., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2023). Sustainability approaches for agrowaste solution: Biodegradable packaging and microbial polysaccharides bio-production. *Science of The Total Environment*, 886, 163922.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163922>
- Fuentes, N., Fragozo, O. I., & Vizcaíno, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99-116.
<https://doi.org/10.18359/RCIN.1434>
- Fuentes, R. A., Berthe, J. A., Barbosa, S. E., & Castillo, L. A. (2021). Development of biodegradable pots from different agroindustrial wastes and byproducts. *Sustainable Materials and Technologies*, 30, e00338.
<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00338>
- Joseph, T. M., Unni, A. B., Joshy, K. S., Kar Mahapatra, D., Haponiuk, J., & Thomas, S. (2023). Emerging Bio-Based Polymers from Lab to Market: Current Strategies, Market Dynamics and Research Trends. *C*

- 9(1), 30.
<https://doi.org/10.3390/c9010030>
- Joshi, K., Meher, M. K., & Poluri, K. M. (2020). Fabrication and Characterization of Bioblocks from Agricultural Waste Using Fungal Mycelium for Renewable and Sustainable Applications. *ACS Applied Bio Materials*, 3(4), 1884-1892.
<https://doi.org/10.1021/acsbm.9b01047>
- Kampeeraappun, P., O-Charoen, N., Dhamvithee, P., & Jansri, E. (2024). Biocomposite Based on Polylactic Acid and Rice Straw for Food Packaging Products. *Polymers*, 16(8), 1038.
<https://doi.org/10.3390/polym16081038>
- Lai, L., Wang, S., Li, J., Liu, P., Wu, L., Wu, H., Xu, J., Severtson, S. J., & Wang, W.-J. (2020). Stiffening, strengthening, and toughening of biodegradable poly(butylene adipate-co-terephthalate) with a low nanoinclusion usage. *Carbohydrate Polymers*, 247, 116687.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116687>
- Leites, C., Menegotto, J., Corralo Spada, J., & Cristina Tessaro, I. (2019). Influence of Blueberry and Jaboticaba Agroindustrial Residue Particle Size on Color Change of Corn Starch Based Films Submitted to Different pH Values Solutions. *Journal of Renewable Materials*, 7(3), 235-243.
<https://doi.org/10.32604/jrm.2019.00033>
- Li, J., Wang, S., Lai, L., Liu, P., Wu, H., Xu, J., Severtson, S. J., & Wang, W.-J. (2021). Synergistic enhancement of gas barrier and aging resistance for biodegradable films with aligned graphene nanosheets. *Carbon*, 172, 31-40.
<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.09.071>
- Li, J., Zhang, X., Zhang, J., Mi, Q., Jia, F., Wu, J., Yu, J., & Zhang, J. (2019). Direct and complete utilization of agricultural straw to fabricate all-biomass films with high-strength, high-haze and UV-shielding properties. *Carbohydrate Polymers*, 223, 115057.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115057>
- Li, R., Zhu, X., Peng, F., & Lu, F. (2023). Biodegradable, Colorless, and Odorless PLA/PBAT Bioplastics Incorporated with Corn Stover. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(24), 8870-8883.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c00691>
- Meherishi, L., Narayana, S. A., & Ranjani, K. S. (2019). Sustainable packaging for supply chain management in the circular economy: A review. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117582.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.057>
- Mostafa, H., Airouyuwaa, J. O., Hamed, F., Wang, 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>
- Mostafa, N. A., Farag, A. A., Abo-dief, H. M., & Tayeb, A. M. (2018). Production of biodegradable plastic from agricultural wastes. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(4), 546-553.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.04.008>
- Narancic, T., Cerrone, F., Beagan, N., & O'Connor, K. E. (2020). Recent Advances in Bioplastics: Application and Biodegradation. *Polymers*, 12(4), 920.
<https://doi.org/10.3390/polym12040920>
- 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., McGuinness, L., Stewart, L., Thomas, J., Tricco, A., Welch, V., Whiting, P., & 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.ijssu.2021.105906>
- Peng, L., Yi, J., Yang, X., Xie, J., & Chen, C. (2023). Development and characterization of mycelium bio-composites by utilization of different agricultural residual byproducts. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 8(1), 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.11.005>
- Poudel, R., & Karak, N. (2023). Sustainable green composite of yam and agricultural waste corn stalk fiber with good mechanical, thermal, optical, aging performance and excellent biodegradability. *Composites Science and Technology*, 244, 110276. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2023.110276>
- Pratelli, A., Cinelli, P., Seggiani, M., Strangis, G., & Petri, M. (2022). Agricultural Plastic Waste Management. *Wseas Transactions on Environment and Development*, 18, 1312-1319. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.124>
- Rajesh, K. A., Kartha, S. A., Issac, M. N., & Varghese, T. O. (2023). Biosourced epoxidized neem oil toughened poly(lactic acid) for agricultural applications: mechanical, thermal and compostability properties. *Iranian Polymer Journal*, 32(3), 275-285. <https://doi.org/10.1007/s13726-022-01126-9>
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M.-B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martínez, B. M., Alonso, R., Agostinis, L., Verstichel, S., Six, L., Mets, S. De, Gómez, E. C., Ißbrücker, C., Geerinck, R., Nettleton, D. F., Campos, I., Sauter, E., Pieczyk, P., & Schmid, M. (2020). Bio-Based Packaging: Materials, Modifications, Industrial Applications and Sustainability. *Polymers*, 12(7), 1558. <https://doi.org/10.3390/polym12071558>
- Rincón, E., De Haro-Niza, J., Morcillo-Martín, R., Espinosa, E., & Rodríguez, A. (2023). Boosting functional properties of active-CMC films reinforced with agricultural residues-derived cellulose nanofibres. *RSC Advances*, 13(35), 24755-24766. <https://doi.org/10.1039/D3RA04003H>
- Rives Castillo, S. C. H., Correa Pacheco, Z. N., Bautista Baños, S., Ventura Aguilar, R. I., Schettino Bermudez, B. S., Ortega Gudiño, P., & Barajas Cervantes, A. (2021). Análisis químico proximal y térmico en harinas de productos residuales de nopal (*opuntia ficus-indica*) para obtención de compuestos poliméricos biobasados. *Agrociencia*, 55(5), 403-416. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i5.2516>
- Salazar-Bravo, P., Torres-Huerta, A. M., Domínguez-Crespo, M. A., Brachetti-Sibaja, S. B., Licona-Aguilar, A. I., Rodríguez-Salazar, A. E., & Willcock, H. (2023). Electrospun PVA membranes reinforced with cellulose nanocrystals and thermally reduced graphene oxide: Thermal, mechanical and UV-protection properties. *Industrial Crops and Products*, 197, 116614. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116614>
- Santos, F. H., Siqueira, L. E., Cardoso, G. P., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2021). Antioxidant packaging development and optimization using agroindustrial wastes. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(35). <https://doi.org/10.1002/app.50887>
- Sayanjali, S., Lu, Y., & Howell, K. (2024). Extraction and Characterization of Cellulose from Broccoli Stems as a New Biopolymer Source for Producing Carboxymethyl Cellulose Films. *International Journal of Food Science*, 2024, 1-15.

- <https://doi.org/10.1155/2024/7661288>
- Seggiani, M., Cinelli, P. y Geicu, M., Popa, M. E., Puccini, M., & Lazzeri A. (2016). Microbiological Valorisation of Bio-composites Based on Polylactic Acid and Wood Fibres. *Chemical Engineering Transactions*, 49. <https://www.aidic.it/cet/16/49/022.pdf>
- Seggiani, M., Cinelli, P., Verstichel, S., Puccini, M., Vitolo, S., Anguillesi, I., & Lazzeri, A. (2015). Development of Fibres-Reinforced Biodegradable Composites. *Chemical Engineering Transactions*, 43. 1813-1818. <https://www.aidic.it/cet/15/43/303.pdf>
- Tapia-Blácido, D. R., Aguilar, G. J., De Andrade, M. T., Rodrigues-Júnior, M. F., & Guareschi-Martins, F. C. (2022). Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 257-271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.005>
- Thomas, A. P., Kasa, V. P., Dubey, B. K., Sen, R., & Sarmah, A. K. (2023). Synthesis and commercialization of bioplastics: Organic waste as a sustainable feedstock. *Science of The Total Environment*, 904, 167243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167243>
- Valdés, A., & Garrigós, M. C. (2016). Carbohydrate-Based Advanced Biomaterials for Food Sustainability: A Review. *Materials Science Forum*, 842, 182-195. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.842.182>
- Versino, F., López, O. V., & García, M. A. (2021). Sunflower Oil Industry By-product as Natural Filler of Biocomposite Foams for Packaging Applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(6), 1869-1879. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01981-8>
- Xu, S., Cui, J., Dai, C., Wei, X., Tian, X., Fang, D., Song, G., & Ma, L. (2024). From waste to eco-friendly biofilms: Harnessing cottonseed hull proanthocyanidins for sustainable solutions. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103448>
- Yaradoddi, J. S., Banapurmath, N. R., Ganachari, S. V., Soudagar, M. E. M., Mubarak, N. M., Hallad, S., Hugar, S., & Fayaz, H. (2020). Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Scientific Reports*, 10(1), 21960. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78912-z>
- Zhang, L., Li, F., Xie, D., & Li, Y. (2024). Preparation and characterization of green-based anti-ultraviolet and antidripping biodegradable film. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(18). <https://doi.org/10.1002/app.55317>