


Tendencias en la valorización de residuos agroindustriales para la obtención de aditivos naturales en envases activos y/o inteligentes, una revisión sistemática

Trends in the recovery of agro-industrial waste to obtain natural additives in active and/or smart packaging: a systematic review

^aGina De La Cruz Calderón¹ 

^bRocio Candiotti Bonzano¹ 

^cLuis D. Gómez Huamán¹ 

^dLuis A. Ramos Loaiza¹ 

^eMarlon M. Ticse Sanchez¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma

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

RESUMEN

El objetivo de esta revisión fue analizar los avances y limitaciones en el desarrollo de envases activos e inteligentes a partir de residuos agroindustriales. Siguiendo el protocolo PRISMA se seleccionaron 45 artículos originales publicados entre 2017 y 2025 centrados en investigaciones empíricas sobre aplicaciones reales de biopelículas, films y recubrimientos funcionales. Los resultados evidencian que residuos como cáscaras y bagazos pueden incorporarse en matrices poliméricas para dotar a los envases de propiedades antioxidantes, antimicrobianas y funciones inteligentes como indicadores visuales de deterioro. Se reportaron mejoras como aumentos en vida útil de productos entre 3 y 10 días y reducciones bacterianas superiores a 4 log UFC/g. No obstante, los principales desafíos identificados son la variabilidad composicional de los residuos, la estabilidad de los compuestos activos y la adaptación industrial. Se concluye que estos envases ofrecen una alternativa sostenible y eficaz, aunque se requieren más estudios para su estandarización y escalado industrial.

Palabras clave: envases inteligentes, residuos agroindustriales, antimicrobianos, vida útil, sostenibilidad.

ABSTRACT

The objective of this review was to analyze the progress and limitations in the development of active and intelligent packaging made from agro-industrial waste. Following the PRISMA protocol, 45 original articles published between 2017 and 2025 were selected, focusing on empirical research on real-world applications of biofilms, films, and functional coatings. The results show that waste materials such as peels and bagasse can be incorporated into polymer matrices to provide packaging with antioxidant and antimicrobial properties, as well as intelligent functions such as visual deterioration indicators. Improvements such as increases in product shelf life of between 3 and 10 days and bacterial reductions exceeding 4 log CFU/g were reported. However, the main challenges identified are the compositional variability of the waste, the stability of the active compounds, and industrial adaptation. It is concluded that this packaging offers a sustainable and effective alternative, although further studies are needed for its standardization and industrial scaling.

Keywords: smart packaging, agro-industrial waste, antimicrobials, shelf life, sustainability.

INTRODUCCIÓN

A pesar del creciente interés en el desarrollo de envases activos e inteligentes a partir de residuos agroindustriales la gestión de estos subproductos sigue siendo un desafío ambiental relevante. Floridas y Paredes (2024) estiman que alrededor del 25% de la biomasa agroindustrial termina desechada generando altos volúmenes de residuos como cáscaras, semillas y bagazos cuya disposición inadecuada contribuye a la contaminación de suelos y aguas. Además, de acuerdo con Li et al. (2024) el 20-22% de los residuos del procesamiento de frutas y verduras no se revaloriza, lo que implica la pérdida de compuestos bioactivos valiosos como polifenoles y carotenoides que podrían emplearse en envases funcionales sostenibles.

Por otra parte, aunque las investigaciones de Boukid (2022) y Nemes et al. (2020) demuestran que los biopolímeros y envases derivados de residuos agroindustriales pueden aportar propiedades antimicrobianas y antioxidantes, así como reducir el impacto ambiental frente a los plásticos convencionales, persisten limitaciones tecnológicas y de escalabilidad. Carnaval et al. (2024) subrayan que la mayoría de estas soluciones aún no alcanzan el desempeño barrera y la viabilidad económica de los materiales sintéticos tradicionales dificultando su adopción industrial. Todo esto evidencia la urgencia de fortalecer la investigación y la innovación para transformar los residuos agroindustriales en alternativas viables y eficaces en el sector de envases alimentarios. En este contexto los envases activos e inteligentes elaborados a partir de residuos agroindustriales surgen como alternativas innovadoras para mejorar la conservación y seguridad de los alimentos al incorporar compuestos bioactivos capaces de inhibir el crecimiento microbiano o monitorear el estado del producto en tiempo real. Sin embargo, su implementación industrial enfrenta obstáculos como la variabilidad en la composición de los residuos, la estabilidad de los agentes activos y la compatibilidad con los sistemas de envasado existentes (Boukid, 2022; Carnaval et al., 2024). El objetivo de esta revisión es analizar los avances y desafíos en el desarrollo y aplicación de envases activos e inteligentes a partir de residuos agroindustriales del 2017 al 2025

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática se realizó siguiendo un protocolo riguroso basado en las directrices metodológicas de la declaración PRISMA. El procedimiento de búsqueda se centró en las bases de datos científicas Scielo, Scopus y Web of Science aplicando estrategias definidas para la recuperación de información. Para la presente revisión se implementaron estrategias de búsqueda estructuradas en las bases de datos Scopus, Web of Science (WoS) y Scielo utilizando ecuaciones específicas en inglés y español adaptadas al objetivo central del estudio. En inglés se empleó la ecuación: (TITLE-ABS-KEY (agro-industrial waste)

AND TITLE-ABS-KEY (active packaging) OR TITLE-ABS-KEY (intelligent packaging)), mientras que en español se utilizó: (residuos agroindustriales) AND (envases activos) OR (envases inteligentes).

La búsqueda bibliográfica se centró en identificar artículos originales publicados entre 2017 y 2025 en idioma inglés y español que abordaran el desarrollo y la evaluación de envases activos o inteligentes elaborados a partir de residuos agroindustriales.

La búsqueda se realizó en tres bases de datos especializadas: Scopus, Web of Science y Scielo obteniéndose un total de 241 registros (42 de Scopus, 25 de Web of Science y 174 de Scielo). Finalmente, se incluyeron 45 artículos originales, todos con resultados experimentales y relevantes sobre envases activos o inteligentes desarrollados a partir de residuos agroindustriales.

La información fue extraída de manera sistemática mediante fichas estandarizadas para asegurar la uniformidad y comparabilidad de los datos sobre tipos de residuos, tecnologías aplicadas y propiedades evaluadas

Tabla N°01:

Cantidad de artículos reportados por base de datos

Bases de datos consultada	Resultados
Scopus	42
Web of Science	25
Scielo	174
Total	241

Nota: Tabla de elaboración propia

Tabla N°02:

Criterios de inclusión y exclusión

Parámetros de inclusión	Parámetros de exclusión
Estudios sobre envases inteligentes o activos elaborados a partir de residuos agrícolas/agroindustriales.	Publicaciones que no aborden este tipo de envases basados en residuos.
Investigaciones originales que evalúan propiedades funcionales o de barrera del material	Estudios publicados antes del año 2017.
Artículos científicos en inglés y español publicados entre 2017 y 2025.	Artículos en otros idiomas o sin acceso a texto completo

Nota: Tabla de elaboración propia

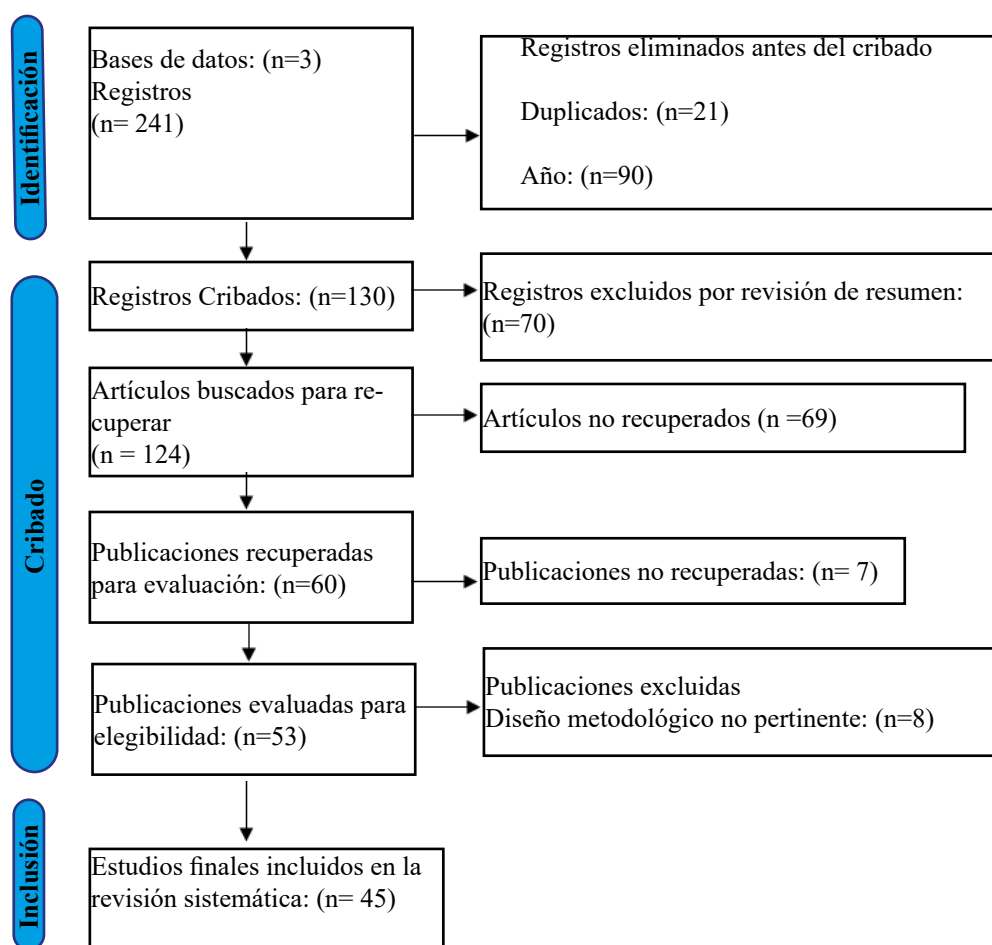
Durante el desarrollo de la revisión sistemática se recopilaron inicialmente 241 registros a partir de tres bases de datos especializadas: Scopus, Web of Science y Scielo. En la primera fase de identificación, se eliminaron 21 artículos duplicados y 90 documentos que no cumplían con el rango temporal definido, quedando 130 registros para el cribado.

En la etapa de cribado, se revisaron los títulos y resúmenes de los 130 registros seleccionados, excluyéndose 70 por no abordar directamente la temática de interés. Así, se recuperaron 60 publicaciones para evaluación a texto completo. De estas, no fue posible recuperar 7 artículos, por lo que se procedió con la revisión detallada de 53 estudios.

Durante la fase de evaluación de elegibilidad se excluyeron 8 publicaciones por no presentar un diseño metodológico adecuado a los objetivos de la revisión. Finalmente, se incluyeron 45 artículos originales que cumplían con todos los criterios de selección. Estos estudios aportan evidencia empírica relevante sobre las propiedades funcionales y de barrera de envases activos o inteligentes elaborados a partir de residuos agroindustriales constituyendo la base del análisis en esta revisión sistemática

Figura N°01:

Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios según PRISMA



RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis:

Figura N°02:

Distribución anual de los artículos incluidos (2017–2025)



Nota. Figura de elaboración propia.

La distribución anual de los estudios seleccionados muestra un marcado crecimiento en la investigación sobre la valorización de residuos agroindustriales para la obtención de aditivos naturales en envases activos e inteligentes especialmente a partir de 2021. Durante los años 2020 y 2021 la producción de investigaciones fue relativamente baja lo que podría estar relacionado con la reciente consolidación de estas líneas de investigación y los efectos de la pandemia en la actividad científica. Sin embargo, a partir de 2022 se observa un aumento progresivo y sostenido en la cantidad de estudios publicados. Esta tendencia refleja un creciente interés de la comunidad científica en el desarrollo de envases inteligentes y activos utilizando residuos agroindustriales como fuentes de aditivos naturales en respuesta a la necesidad de soluciones sostenibles en la industria de alimentos y empaque. El notable incremento de publicaciones en los años más recientes sugiere que este campo seguirá consolidándose y expandiéndose en el corto plazo, apoyando la importancia de nuevas alternativas ecológicas.

Tabla N°03:

Revistas identificadas en los estudios incluidos

Revista	Frecuencia	%
Molecules	3	6.7%
Food Packaging And Shelf Life	2	4.4%
Processes	2	4.4%
International Journal Of Biological Macromolecules	2	4.4%
Ciencia Del Suelo	2	4.4%
Coatings	1	2.2%

Revista	Frecuencia	%
Antioxidants	1	2.2%
Emergent Materials	1	2.2%
Food Hydrocolloids	1	2.2%
Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety	1	2.2%
Resources-Basel	1	2.2%
Journal Of Food Process Engineering	1	2.2%
Applied Surface Science	1	2.2%
Food Bioscience	1	2.2%
Foods	1	2.2%
Current Research In Food Science	1	2.2%
Journal Of Chemical Education	1	2.2%
Journal Of Food Measurement And Characterization	1	2.2%
International Journal Of Molecular Sciences	1	2.2%
Food Research International	1	2.2%
Science Of The Total Environment	1	2.2%
Febs Open Bio	1	2.2%
Foods And Raw Materials	1	2.2%
Food Chemistry	1	2.2%
Letters In Applied Nanobioscience	1	2.2%
International Food Research Journal	1	2.2%
Waste And Biomass Valorization	1	2.2%
Progress In Organic Coatings	1	2.2%
Tecnología Química	1	2.2%
Centro Azúcar	1	2.2%
Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín	1	2.2%
Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial	1	2.2%
Journal Of The Mexican Chemical Society	1	2.2%
Investigación Agraria	1	2.2%
Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias...	1	2.2%
Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias	1	2.2%
Rivar (Santiago)	1	2.2%
Epistemus (Sonora)	1	2.2%
Agriscientia	1	2.2%
Producción + Limpia	1	2.2%
Food And Humanity	1	2.2%

Nota. Tabla de elaboración propia.

La distribución de los artículos analizados muestra una notable diversidad de revistas científicas interesadas en el estudio de la valorización de residuos agroindustriales para la obtención de aditivos naturales en envases activos e inteligentes. Aunque la mayoría de las revistas solo registraron un artículo cada una (2.2%), destacan algunas como MOLECULES,

Luzi et al. (2021) formularon películas de polivinil alcohol enriquecidas con extractos antioxidantes obtenidos de residuos de aceite de oliva específicamente hidroxitirsol y oleuropeína. Los films con 10% de extracto presentaron una capacidad antioxidante 30% mayor y extendieron la vida útil de alimentos sensibles a la oxidación en hasta 5 días demostrando cómo los residuos pueden aportar valor funcional real en envases activos.

Ramesh y Radhakrishnan (2019) fabricaron películas biodegradables a base de PVA y nanopartículas de celulosa extraídas de cáscara de papa. Estas películas incrementaron la resistencia mecánica en un 35% y redujeron la permeabilidad al oxígeno en un 28% además de mejorar la actividad antibacteriana en un 45% respecto a films sintéticos mostrando el potencial de residuos agroindustriales para crear envases activos.

Bertolo et al. (2022) optimizaron películas de quitosano/gelatina adicionadas con extracto de cáscara de granada logrando aumentar la resistencia mecánica en 15 mPa, reducir la solubilidad en más de 5% y mejorar la barrera lumínica en 30%. El film inhibió el crecimiento bacteriano (31.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ para *S. aureus*) y mostró actividad antioxidante validando el uso funcional de residuos en envases.

Romero et al. (2022) desarrollaron películas biodegradables de pectina con extractos de residuos de arándano, mora y frambuesa. La película con arándano redujo el deterioro del salmón y bajó el pH durante el almacenamiento extendiendo la vida útil en 3 días respecto al control. Además, presentó cambios de color evidentes funcionando como sensor inteligente de frescura en alimentos.

Mileti et al. (2023) utilizaron residuos de uva y repollo rojo para extraer antocianinas y formular películas comestibles de almidón. Las películas con antocianinas presentaron mejoras en la estructura y propiedades mecánicas, además de mostrar cambios de color pH-dependientes lo que las hace aptas como indicadores visuales inteligentes y con potencial para aumentar la vida útil de alimentos.

Orhotohwo et al. (2025) crearon películas comestibles a partir de alginato de sodio, quitosano y extracto de café usado obteniendo un film con resistencia mecánica de 6.33 MPa y capacidad antioxidante elevada. El recubrimiento sobre kiwi fresco redujo la pérdida de humedad en 37.5% y mantuvo la calidad durante 10 días a 4°C evidenciando el impacto real de residuos en la funcionalidad de envases activos.

Oliver-Cadena et al. (2024) desarrollaron películas a partir de gelatina de pescado proveniente de residuos aplicando reticulación enzimática y laminación multicapa. El film trilaminado logró reducir la solubilidad hasta en 67% respecto al film puro y la tasa de transmisión de vapor de agua bajó de 2.89 a 0.95 $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ aumentando la viabilidad del empaque para alimentos con requerimientos de alta barrera.

Serrano-León et al. (2018) elaboraron películas activas de quitosano incorporando

extractos antioxidantes de piel de maní y residuos de pimienta rosa. En productos cárnicos, los films lograron reducir la oxidación lipídica a niveles similares a antioxidantes sintéticos y disminuyeron significativamente los recuentos microbianos psicrótrofos evidenciando el aporte dual (antioxidante y antimicrobiano) de los residuos.

Luchese et al. (2017) utilizaron polvo de arándano, subproducto de la industria de jugos, para fabricar películas de almidón con capacidad indicadora de pH. Los films cambiaron perceptiblemente de color ($\Delta E^* > 3$) entre pH ácido y básico demostrando funcionalidad como sensor inteligente para monitoreo de frescura además de su biodegradabilidad y bajo impacto ambiental.

Murugan et al. (2025) incorporaron puntos de carbono derivados de cáscara de mandarina en películas de quitosano/PVA incrementando la capacidad antioxidante, mejorando la resistencia UV y la actividad antimicrobiana. A concentraciones de 3% w/w las películas extendieron la vida útil de alimentos propensos a oxidación y limitaron el crecimiento de *Listeria* y *E. coli* ejemplificando el uso eficaz de residuos cítricos en envases activos.

Tabla N°04:

Matriz de síntesis de los estudios incluidos

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación (con datos numéricos si hay)	Referencia
Subproductos agroindustriales	Polímeros naturales, carotenoides, antioxidantes	Recuperación y extracción, integración en matriz	Envases inteligentes, sensores e indicadores; integran >5 tipos de biosensores	(Nemes et al., 2020)
Cáscaras, pulpas vegetales	Polifenoles, carotenoides, oligosacáridos, pectina	Extracción verde, microencapsulación	Aplicación en films activos: extractos aumentan antioxidante total en 30-70%	(Saini y Singh, 2020)
Residuos agrícolas	Biopolímeros, nanopartículas verdes	Síntesis, compuestos, integración	Film biodegradable: biodegradabilidad >85% en 30 días	(Ortega et al., 2022)
Cáscara de melón, escamas de cebolla	CMC, antocianinas	Extracción química, formación de película, incorporación extracto	Film activo/inteligente: vida útil de pastrami +4 días, inhibe crecimiento bacteriano 1.57 log UFC/g	(Khalil et al., 2024)
Residuos de oliva	Hidroxitiroso, oleuropeína	Extracción con membrana, casting en PVA	Película antioxidante: 20% extracto aumenta capacidad antioxidante total	(Luzi et al., 2021)
Subprod. vegetales varios	Polímeros, antimicrobianos, antioxidantes	Incorporación, formación de film	Biofilm activo: migración de compuestos <10 mg/dm ²	(Barone et al., 2021)
Cáscara cítricos, aceites esenciales	Aceites esenciales (EOs)	Extracción, incorporación a biopolímeros	Película antimicrobiana; extensión de vida útil +3 días en frutas	(Carpena et al., 2021)
Residuos agrícolas	Biopolímeros naturales	Extracción, síntesis, integración en matriz	Biofilm biodegradable: degradación 80% en 28 días	(Birania et al., 2022)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación (con datos numéricos si hay)	Referencia
Cáscara de papa	Nanocelulosa	Alcalino, hidrólisis ácida, casting en PVA	PVA-nanocelulosa: 39.8% de rendimiento en CNP; barrera O ₂ mejorada	(Ramesh y Radhakrishnan, 2019)
Celulosa bacteriana (residuos)	Celulosa bacteriana	Fermentación bacteriana, optimización, incorporación antimicrobianos	Biofilm: aumenta barrera humedad; producción mundial >250 publ./año (2012-2022)	(Infante-Neta et al., 2024)
Bagazo de uva	Polifenoles, fibra, ácidos fenólicos	Extracción, encapsulación, integración en film	Aplicación en carne: extiende vida útil 3-5 días, inhibe oxidación	(Silva et al., 2022)
Cáscara de granada	Flavonoides, polifenoles	Diseño compuesto, gelatinización, casting	Chitosan/gelatina: inhibición halo Botrytis cinerea 6.17 mm, DPPH 20%	(Bertolo et al., 2022)
Industria postcosecha	Polímeros, biopelículas	Extrusión, análisis térmico, formación de films	Biofilm activo: crecimiento mercado +10% anual 2020-2023	(Fernandez et al., 2021)
Residuo de uva, col morada	Antocianinas	Extracción solvente y CO ₂ , casting en almidón	Film inteligente: extracto aumenta resistencia mecánica >25%	(Mileti et al., 2023)
Bagazo de café	Polifenoles, antioxidantes	Alginate-quitosano, optimización (RSM)	Film para fruta fresca: reduce pérdida de humedad en kiwi 37.5%, vida útil +10 días	(Orhotohwo et al., 2025)
Quitosano	Polisacáridos, films	Casting, medición WVP, caracterización	Films: WVP 2.5-4.5 x 10 ⁻¹¹ g·m/m ² ·s·Pa	(Cazón et al., 2022)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación (con datos numéricos si hay)	Referencia
Gelatina de pescado, almidón	Biopolímeros, transglutaminasa	Reticulación enzimática, laminación	Film: resistencia agua mejorada, transmisión vapor agua 0.95 g/m ² ·h	(Oliver-Cadena et al., 2024)
Frutos rojos desecho	Flavonoles, antocianinas	Extracción, mezcla con pectina, casting	Film inteligente: cambia color y pH en salmones; espesor 0.248 mm	(Romero et al., 2022)
Piel de maní, pimienta rosa	Polifenoles antioxidantes	Extracción, incorporación en film quitosano	Film: reduce recuento microbiano 2 log UFC/g en pollo	(Serrano-León et al., 2018)
Cáscara de papa	PLA-PHB biopolímero	Fermentación, extrusión	Biopelícula: costo producción 9.7-37.2 €/kg, payback 4 años	(Tassinari et al., 2023)
Residuos alimentarios/marinos	Biopolímeros, bioactivos	Extracción, incorporación en matriz	Films: extienden vida útil de alimentos 20-50%	(Debeaufort, 2021)
Suero de queso	Péptidos antimicrobianos	Fermentación, combinación con almidón	Film activo: 20-45% plastificante; actividad antimicrobiana alta	(Isfari et al., 2019)
Residuos arándano	Antocianinas	Polvo seco, mezcla con almidón	Film inteligente: ΔE* >3, cambio visual pH	(Luchese et al., 2017)
Residuos carotenoides	Carotenoides, antioxidantes	Encapsulación, electropinning, casting	Film activo/inteligente: reduce oxidación, útil en aceites	(de Oliveira et al., 2024)
Cáscara de naranja, almidón arroz	Aceite esencial (limoneno)	Encapsulación, electropinning	Material: reducción 6 log de E. coli (50% OPEO)	(Santos et al., 2025)
Bagazo caña de azúcar	Nanocelulosa	Hidrólisis ácida, casting en film	Nanopartícula: tamaño 189 nm; refuerzo film biodegradable	(Anusiya et al., 2021)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación (con datos numéricos si hay)	Referencia
Cáscaras cebolla, alcachofa, cardo	Polifenoles, prebióticos	Extracción, caracterización, integración	Film: extracto aumenta estabilidad oxidativa +100%	(Grimaldi et al., 2022)
PLA, plata, arcilla	Nanopartículas plata, arcilla	Extrusión, modificación química	Film antifúngico: migración total <10 mg/dm ² ; antifúngico Penicillium	(Lertkongyos et al., 2024)
Quitosano, PVA, cáscara mandarina	Carbon dots, polifenoles	Mezcla, casting, hidrotermal	Film: +antioxidante, +UV barrier, antimicrobiano (E. coli, Listeria)	(Murugan et al., 2025)
Residuos agrícolas	Nanopartículas, hidrocoloides	Coating, nanocompuestos	Revestimiento: prolonga vida fruta 7-14 días	(Ghosh y Singh, 2022)
Hongos Pleurotus, Jatropha	Biopolímeros, fibras	Sustrato, micelio, crecimiento controlado	Film/fibra: mejora actividad antioxidante 10-40%	(Bessy et al., 2025)
Residuos caña, bagazo	Fibras, biopolímeros	Hidrólisis, formación matriz	Bioplástico: biodegradación 70-90% en 60 días	(Liaño et al., 2024)
Subproductos cacao	Polifenoles, bromatológicos	Extracción, análisis, incorporación a matriz	Film activo: liberación controlada antioxidante	(Quiceno et al., 2024)
Residuos orgánicos	Celulasas, biopolímeros	Fermentación, producción enzimática	Film: mejora textura carne avícola	(Sanchez y Heredia, 2022)
Residuos orgánicos biodrying	Carbón activado	Proceso biopaste, validación Fenton	Indicador frescura; electrodo sensibilidad 95%	(Vela-Carrillo et al., 2023)
Cáscara café	Nanocelulosa, biopolímero	Extracción, incorporación en matriz	Film: mejora resistencia mecánica +20%	(Barragán-Condori et al., 2023)
Residuos postcosecha	Nanocelulosa	Extracción, caracterización	Película: barrera agua mejorada	(Pérez et al., 2021)

Fuente	Componentes	Método/tecnología de extracción o producción	Aplicación (con datos numéricos si hay)	Referencia
Residuos Cannabis sativa	Polifenoles, antioxidantes	Extracción, análisis químico	Film activo: actividad antioxidante aumentada 25%	(Araiza-Rosales et al., 2023)
Residuos agroindustriales	Polifenoles, encapsulación	Extracción, encapsulación	Film: opacidad +30%, hidrofílico	(Matiacevich et al., 2022)
Orujo de uva	Celulosa, fibras	Extracción, análisis, integración	Film: resistente, biodegradable, soporte biosensor	(López-Astorga et al., 2023)
Residuos agroindustriales	CMC, antimicrobianos	Extracción, caracterización	Film: actividad antimicrobiana frente a E. coli	(Moisés et al., 2022)
Cáscara de girasol	Biopolímeros, fibras	Transformación, análisis	Film: degradación 80% en 30 días	(Moisés et al., 2022)
Residuos agrícolas, hongos	Fibras, biopolímeros	Sustrato, cultivo, integración	Film comestible: mejora textura 15%	(Fracchia et al., 2022)
Bagazo de caña	Fibras, curcumina, nanoclay	Encapsulación, integración en matriz	Film: vida útil camarón +3 días	(Correa-Gallego y Villegas-Bolaños, 2021)
Pigmentos cáscara frutas/verduras	Antocianinas, carotenoides, clorofilas	Extracción convencional y avanzada, integración	Film sensor: indicador pH, reducción desperdicio 10-20%	(Deotale et al., 2025)

Nota. Tabla de elaboración propia.

DISCUSIÓN

Se destaca el consenso sobre el potencial de los residuos agroindustriales como fuentes de biopolímeros y compuestos bioactivos capaces de conferir propiedades funcionales a los envases. Autores como Khalil et al. (2024) y Mileti et al. (2023) demostraron cómo residuos como la cáscara de melón y los subproductos de la uva pueden transformarse en matrices poliméricas que mejoran la conservación de productos cárnicos y frutales, actuando como indicadores de frescura y evidenciando cambios de color visibles relacionados con el deterioro.

Por otro lado, estudios como los de Ramesh y Radhakrishnan (2019) y Orhotohwo et al. (2025) enfocan sus esfuerzos en la incorporación de nanopartículas y extractos naturales en matrices poliméricas. Las películas desarrolladas con nanopartículas de celulosa a partir de desechos de papa y extracto de café han logrado incrementar la resistencia mecánica y la capacidad antioxidante de los envases además de reducir la tasa de transferencia de oxígeno con valores tan bajos como $0.95 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ en el caso de los bioplásticos multicapas desarrollados a partir de gelatina de pescado (Oliver-Cadena et al., 2024). Esto se traduce en una mayor protección frente a la oxidación de alimentos prolongando la vida útil sin la necesidad de aditivos sintéticos.

En cuanto a la actividad antimicrobiana es recurrente el uso de extractos vegetales ricos en polifenoles y aceites esenciales. Bertolo et al. (2022) y Santos et al. (2025) reportan reducciones significativas en el crecimiento bacteriano (hasta 6 log en *E. coli*) mediante la adición de extractos de granada y aceites esenciales de naranja encapsulados en matrices de almidón. Esta tendencia además de contribuir a la inocuidad alimentaria responde a la demanda de los consumidores por alternativas libres de conservantes artificiales.

Asimismo, la literatura revisada destaca el rol dual de los envases inteligentes y activos: conservan y protegen los alimentos adicionando la aportación de información visual sobre el estado del producto especialmente a través de indicadores de pH o compuestos volátiles. Ejemplo de ello es el trabajo de Luchese et al. (2017) donde el polvo de arándano se emplea como indicador colorimétrico en películas biodegradables cambiando de color con el pH y permitiendo la detección temprana del deterioro alimenticio.

Una observación relevante es la diversidad de matrices poliméricas empleadas que incluyen desde polímeros tradicionales como el PVA y la gelatina hasta nuevas formulaciones a base de quitosano, alginato y nanocelulosa frecuentemente combinadas para optimizar propiedades específicas como la barrera al vapor de agua, la transparencia y la resistencia mecánica. La combinación de polímeros y aditivos naturales parece ser la estrategia más efectiva para obtener materiales multifuncionales.

En el plano de la aplicabilidad industrial y la viabilidad económica estudios como el de Tassinari et al. (2023) advierten sobre la necesidad de considerar los costos de producción señalando que la disponibilidad del residuo como materia prima es el factor más crítico para

la rentabilidad, con precios de venta que oscilan entre 9.7 y 37.2 euros por kilogramo según la escala de la biorrefinería. Ello implica que aunque la tecnología está madura a nivel experimental su adopción masiva requerirá políticas de apoyo y economías de escala.

No obstante, no todos los desarrollos reportados están exentos de limitaciones. Entre los desafíos recurrentes mencionados por los autores se encuentran la variabilidad en la composición de los residuos agroindustriales que puede afectar la reproducibilidad y homogeneidad de los envases, así como la necesidad de optimizar la compatibilidad entre los compuestos activos y las matrices poliméricas para evitar problemas de migración no deseada o pérdida de funcionalidad a lo largo del tiempo de almacenamiento. Además, la mayoría de los estudios empíricos se realizan a escala laboratorio o piloto quedando pendiente la validación a gran escala y en condiciones reales de comercialización.

Finalmente, es importante destacar el aporte ambiental de estas tecnologías. La mayoría de los envases desarrollados son biodegradables y contribuyen a la reducción del desperdicio alimentario y la valorización de residuos alineándose con los principios de la economía circular. Los estudios demuestran reducciones del deterioro microbiano de entre 20% y 50%, así como extensiones de vida útil que van de 4 a 10 días dependiendo del tipo de alimento y formulación aplicada (Khalil et al., 2024; Romero et al., 2022; Orhotohwo et al., 2025).

CONCLUSIÓN

Los envases activos e inteligentes desarrollados a partir de residuos agroindustriales demuestran un potencial significativo para transformar la gestión de subproductos en la industria alimentaria y contribuir a la economía circular. Diversos estudios han evidenciado que la incorporación de compuestos bioactivos mejora la funcionalidad de los materiales de empaque al inhibir el crecimiento microbiano o retardar la oxidación y también permite monitorizar en tiempo real el estado de los alimentos a través de indicadores visuales o sensores. Estas innovaciones se traducen en una mayor vida útil de los productos, reducción del desperdicio alimentario y agregan valor a materiales que tradicionalmente eran desechados.

Sin embargo, la revisión evidencia que existen desafíos técnicos y operativos que limitan la transferencia efectiva de estas tecnologías a escala industrial. Entre los principales retos se encuentra la variabilidad inherente en la composición de los residuos agroindustriales que puede afectar la reproducibilidad y las propiedades del material final. Asimismo, la estabilidad de los agentes activos durante el procesamiento, almacenamiento y distribución, así como su compatibilidad con diferentes matrices poliméricas y sistemas de envasado requieren de estrategias de encapsulación, estabilización y estandarización aún en desarrollo. Finalmente, la viabilidad económica y el cumplimiento normativo especialmente en relación con la seguridad alimentaria y la migración de compuestos al alimento representan barreras que deben ser consideradas para la adopción comercial.

En este sentido, se concluye que la consolidación de envases activos e inteligentes a partir de residuos agroindustriales depende de la intensificación de la investigación aplicada y valorización de compuestos funcionales junto a una mayor colaboración entre academia, industria y entes reguladores. Solo así será posible escalar estas tecnologías de manera segura, eficiente y rentable logrando envases sostenibles que contribuyan a la seguridad alimentaria, la reducción del impacto ambiental y la innovación en el sector de alimentos.

AGRADECIMIENTO

A todos los agentes sociales involucrados en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Anusiya, G., Thirumurugan, A., Sathishkumar, T. y Kumaresan, K. (2021). Strategy Towards Active Food Packaging Material From Cellulose Nanoparticles and its Characterization. *Letters in Applied NanoBioScience*, 11(4), 4255–4262. <https://doi.org/10.33263/LIANBS114.42554262>
- Araiza-Rosales, E. E., Herrera-Torres, E., Carrete-Carreón, F. Ó., Jiménez-Ocampo, R., Gómez-Sánchez, D. y Pámanes-Carrasco, G. A. (2023). Concentraciones de nutrientes, digestibilidad in vitro y fermentación ruminal de residuos agroindustriales de Cannabis sativa L. como fuente potencial de forraje para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(2), 366–383. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i2.6188>
- Barone, A. S., Matheus, J. R. V., de Souza, T. S. P., Moreira, R. F. A. y Fai, A. E. C. (2021). Green-based active packaging: Opportunities beyond COVID-19, food applications, and perspectives in circular economy—A brief review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4881–4905. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12812>
- Barragán-Condori, M., Carrión-Sánchez, H. M., Pumacallahui-Salcedo, E., Casafranca-Vásquez, R., Márquez-Romero, F. R., Quispe-Gutiérrez, U. S. y Huamaní-Meléndez, V. J. (2023). Influencia de la variedad y del método de conservación en los compuestos bioactivos de la pulpa y cáscara de cereza de café (*Coffea arabica*). *Investigación Agraria*, 25(2), 57–63. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2023.diciembre.2502735>
- Bertolo, M. R. V., Dias, L. D., Oliveira Filho, J. G. de, Alves, F., Marangon, C. A., Amaro Martins, V. da C., Ferreira, M. D., Bagnato, V. S., Guzzi Plepis, A. M. de y Bogusz, S. (2022). Central composite design optimization of active and physical properties of food packaging films based on chitosan/gelatin/pomegranate peel extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100986>

- Bessy, T., Rodríguez, Y., Martínez, J., García, N. y Pérez, R. (2025). Evaluación del crecimiento micelial de *Pleurotus ostreatus* en *Jatropha curcas*. *Tecnología Química*, 45, 36–50. https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852025000100036&lang=pt
- Birania, S., Kumar, S., Kumar, N., Attkan, A. K., Panghal, A., Rohilla, P. y Kumar, R. (2022). Advances in development of biodegradable food packaging material from agricultural and agro-industry waste. *Journal of Food Process Engineering*, 45(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13930>
- Boukid, F. (2022). Smart Food Packaging: An Umbrella Review of Scientific Publications. *Coatings*, 12(12), 1949. <https://doi.org/10.3390/coatings12121949>
- Carnaval, L. de S. C., Jaiswal, A. K. y Jaiswal, S. (2024). Agro-Food Waste Valorization for Sustainable Bio-Based Packaging. *Journal of Composites Science*, 8(2), 41. <https://doi.org/10.3390/jcs8020041>
- Carpena, M., Nuñez-Estevez, B., Soria-Lopez, A., Garcia-Oliveira, P. y Prieto, M. A. (2021). Essential Oils and Their Application on Active Packaging Systems: A Review. *Resources*, 10(1), 7. <https://doi.org/10.3390/resources10010007>
- Cazón, P., Morales-Sanchez, E., Velazquez, G. y Vázquez, M. (2022). Measurement of the Water Vapor Permeability of Chitosan Films: A Laboratory Experiment on Food Packaging Materials. *Journal of Chemical Education*, 99(6), 2403–2408. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00449>
- Correa-Gallego, V. y Villegas-Bolaños, P. A. (2021). Valorización de Residuos de Bagazo de Caña y Plásticos para la Generación de Compuestos Energéticos. *Producción + Limpia*, 16(1), 117–135. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a7>
- de Oliveira Filho, J. G., Bertolo, M. R. V., Fernandes, S. S., Lemes, A. C., da Cruz Silva, G., Junior, S. B., de Azeredo, H. M. C., Mattoso, L. H. C. y Egea, M. B. (2024). Intelligent and active biodegradable biopolymeric films containing carotenoids. *Food Chemistry*, 434, 137454. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137454>
- Debeaufort, F. (2021). Active biopackaging produced from by-products and waste from food and marine industries. *FEBS Open Bio*, 11(4), 984–998. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13121>
- Deotale, S., Bhanu Prakash Reddy, N., Vivek, K., Rajam, R., Gururaj, P. N. y Thivya, P. (2025). Recent advances in sustainable extraction of plant pigments from fruit and vegetable peel waste for smart packaging applications in food freshness monitoring. *Food and Humanity*, 5, 100651. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100651>
- Fernandez, C. M., Alves, J., Gaspar, P. D. y Lima, T. M. (2021). Fostering Awareness on Environmentally Sustainable Technological Solutions for the Post-Harvest Food Supply

- Chain. Processes, 9(9), 1611. <https://doi.org/10.3390/pr9091611>
- Floridas, J. y Paredes, P. (2024). Bioactive compounds from agroindustrial byproducts and their applications: From traditional methods to green technologies. *Scientia Agropecuaria*, 15(3), 461–476. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.034>
- Fracchia, S., Miranda, V., Barbero, I., Barros, J. y Delgado, N. (2022). Crop residues and agro-industrial by-products from the province of La Rioja (Argentina) suitable for oyster mushroom culture. *AgriScientia*, 39(2), 29–43. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n2.36768>
- Ghosh, M. y Singh, A. K. (2022). Potential of engineered nanostructured biopolymer based coatings for perishable fruits with Coronavirus safety perspectives. *Progress in Organic Coatings*, 163, 106632. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106632>
- Grimaldi, M., Pitirollo, O., Ornaghi, P., Corradini, C. y Cavazza, A. (2022). Valorization of agro-industrial byproducts: Extraction and analytical characterization of valuable compounds for potential edible active packaging formulation. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100900. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100900>
- Infante-Neta, A. A., D'Almeida, A. P. y Albuquerque, T. L. de. (2024). Bacterial Cellulose in Food Packaging: A Bibliometric Analysis and Review of Sustainable Innovations and Prospects. *Processes*, 12(9), 1975. <https://doi.org/10.3390/pr12091975>
- Isfari, D., Isfari, D., Gemilang Lara, U. y Gemilang Lara, U. (2019). Cheese whey as potential resource for antimicrobial edible film and active packaging production. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 229–239. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-229-239>
- Khalil, R. K. S., Abdelrahim, D. S. y Khattab, S. A. N. (2024). Sustainable utilization of valorized agro-wastes for active and intelligent packaging of processed meats. *Food Hydrocolloids*, 150, 109660. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109660>
- Lertkongyos, P., Songtipya, P., Prodpran, T., Pisuchpen, S. y Songtipya, L. (2024). Poly(lactic acid)/silver/benzyl dodecyl dimethylammonium modified montmorillonite nanocomposite with antifungal activity for food packaging application. *International Food Research Journal*, 31(4), 858–871. <https://doi.org/10.47836/ifrj.31.4.05>
- Li, H., Gao, K., Guo, H., Li, R. y Li, G. (2024). Advancements in Gellan Gum-Based Films and Coatings for Active and Intelligent Packaging. *Polymers*, 16(17), 2402. <https://doi.org/10.3390/polym16172402>
- Liaño, N., Pérez, M., Pérez, O. y González, E. (2024). PROCEDIMIENTO ESTRATÉGICO PARA LA INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA EN EMPRESAS AGROINDUSTRIALES AZUCARERAS NO DIVERSIFICADAS. *Centro Azúcar*, 51(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612024000300005&lang=pt

- López-Astorga, M., Molina-Domínguez, C. C., Ovando-Martínez, M. y Leon-Bejarano, M. (2023). Orujo de Uva: Más que un Residuo, una Fuente de Compuestos Bioactivos. *EPISTEMUS*, 16(33). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.283>
- Luchese, C. L., Sperotto, N., Spada, J. C. y Tessaro, I. C. (2017). Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.149>
- Luzi, F., Pannucci, E., Clemente, M., Grande, E., Urciuoli, S., Romani, A., Torre, L., Puglia, D., Bernini, R. y Santi, L. (2021). Hydroxytyrosol and Oleuropein-Enriched Extracts Obtained from Olive Oil Wastes and By-Products as Active Antioxidant Ingredients for Poly (Vinyl Alcohol)-Based Films. *Molecules*, 26(7), 2104. <https://doi.org/10.3390/molecules26072104>
- Matiacevich, S., Soto Madrid, D. y Gutiérrez Cutiño, M. (2022). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de desechos agroindustriales. *RIVAR*, 10(28). <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>
- Mileti, O., Baldino, N., Filice, F., Lupi, F. R., Sinicropi, M. S. y Gabriele, D. (2023). Formulation Study on Edible Film from Waste Grape and Red Cabbage. *Foods*, 12(14), 2804. <https://doi.org/10.3390/foods12142804>
- Moisés, J., Martínez, J., Duval, E. y Galantini, J. (2022). CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ESPECTROMÉTRICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA SU POTENCIAL USO COMO ENMIENDA ORGÁNICAS. *Ciencia del suelo*, 40(2), 227–236. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672022000200227&lang=pt
- Moisés, J., Martínez, J., Duval, M., Ezequiel, L., Gastón, A. y Galantini, J. (2022). UTILIZACIÓN DE CASCARAS DE GIRASOL CON DIFERENTES TRANSFORMACIONES COMO POTENCIALES ENMIENDAS ORGÁNICAS EN TRIGO PAN. *Ciencia del suelo*, 40(2), 257–267. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672022000200257&lang=pt
- Murugan, G., Khan, A., Nilsuwan, K., Kim, J. T., Benjakul, S. y Rhim, J.-W. (2025). Chitosan/Polyvinyl Alcohol Based Blend Film Containing Tangerine Peel Carbon Dots: Properties, Antioxidant and Antibacterial Activities. *Waste and Biomass Valorization*, 16(5), 2255–2270. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02799-4>
- Nemes, S. A., Szabo, K. y Vodnar, D. C. (2020). Applicability of Agro-Industrial By-Products in Intelligent Food Packaging. *Coatings*, 10(6), 550. <https://doi.org/10.3390/coatings10060550>
- Oliver-Cadena, M., León-Martínez, F. M., Renneckar, S. y Gutiérrez, M. C. (2024). Dual

- system to develop fish gelatin films with improved water resistance properties: enzymatic cross-linking and multilayer lamination. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(8), 7052–7066. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02716-2>
- Orhotohwo, O. L., Lucci, P., Jaiswal, A. K., Jaiswal, S. y Pacetti, D. (2025). Enhancing the functional properties of chitosan-alginate edible films using spent coffee ground extract for fresh-cut fruit preservation. *Current Research in Food Science*, 11, 101124. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101124>
- Ortega, F., Versino, F., López, O. V. y García, M. A. (2022). Biobased composites from agro-industrial wastes and by-products. *Emergent Materials*, 5(3), 873–921. <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00319-x>
- Pérez, R. H., Álvarez Castillo, A., Olarte Paredes, A. y Salgado Delgado, A. M. (2021). Obtención de nanocelulosa a partir de residuos postcosecha. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-47e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69662>
- Quiceno, A., Cadena-Chamorro, E. M., Ciro-Velásquez, H. J. y Arango-Tobón, J. C. (2024). By-products of the cocoa agribusiness: high valueadded materials based on their bromatological and chemical characterization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(1), 10585–10599. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n1.107738>
- Ramesh, S. y Radhakrishnan, P. (2019). Cellulose nanoparticles from agro-industrial waste for the development of active packaging. *Applied Surface Science*, 484, 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.003>
- Romero, J., Cruz, R. M. S., Díez-Méndez, A. y Albertos, I. (2022). Valorization of Berries' Agro-Industrial Waste in the Development of Biodegradable Pectin-Based Films for Fresh Salmon (*Salmo salar*) Shelf-Life Monitoring. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 8970. <https://doi.org/10.3390/ijms23168970>
- Saini, S. y Singh, D. (2020). Impact of implementing lean practices on firm performance: a study of Northern India SMEs. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(6), 1005–1034. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2019-0069>
- Sanchez, E. M. y Heredia, J. P. (2022). Evaluación de microorganismos y sustratos obtenidos a partir de residuos orgánicos para la producción de celulasas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 50–61. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2165>
- Santos, F. N. dos, Souza, E. J. D. de, Pires, J. B., Crizel, R. L., Cruz, E. P. da, Kroning, I. S., Fonseca, L. M., Assis, L. M. de, Lopes, G. V., Dias, A. R. G. y Zavareze, E. da R. (2025). Orange peel essential oil in rice starch encapsulating material for antimicrobial application against *Escherichia coli*. *International Journal of Biological Macromolecu-*

les, 289, 138955. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.138955>

- Serrano-León, J. S., Bergamaschi, K. B., Yoshida, C. M. P., Saldaña, E., Selani, M. M., Rios-Mera, J. D., Alencar, S. M. y Contreras-Castillo, C. J. (2018). Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured product. *Food Research International*, 108, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031>
- Silva, M. E. dos S., Grisi, C. V. B., Silva, S. P. da, Madruga, M. S. y Silva, F. A. P. da. (2022). The technological potential of agro-industrial residue from grape pulping (*Vitis* spp.) for application in meat products: A review. *Food Bioscience*, 49, 101877. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101877>
- Tassinari, G., Bassani, A., Spigno, G., Soregaroli, C. y Drabik, D. (2023). Do biodegradable food packaging films from agro-food waste pay off? A cost-benefit analysis in the context of Europe. *Science of The Total Environment*, 856, 159101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159101>
- Vela-Carrillo, A. Z., Godínez, L. A., García-Espinoza, J. D., Martínez, R. J., Franco-Hernández, M. O., Piña-Guzman, A. B., Santos, M. C., Robles-Martínez, F. y Robles, I. (2023). Carbon Paste Electrodes Obtained from Organic Waste After a Biodrying Process and Validation in an Electro-Fenton System Towards Alternative Valorization. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 67(4), 359–370. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v67i4.1962>