Manglar

Manglar 23(3): 395-406 (2026)

Valorización de residuos agroindustriales como fuente de antioxidantes y sus aplicaciones en la industria alimentaria: revisión sistemática (2021–2026)

Valorization of agro-industrial residues as antioxidant sources for food applications: A systematic review (2021–2026)

Sharol Yasayda Paucar-Vega[1*]; Rafael Julian Malpartida-Yapias[1]; Daniel Omar Mendez-Chocce[1]

1 Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT), Tarma, Junín, Perú.

* Autor corresponsal: 76684706@unaat.edu.pe (S. Y. Paucar-Vega).

ORCID de los autores:
S. Y. Paucar-Vega: https://orcid.org/0009-0008-1743-7758
R. J. Malpartida-Yapias: https://orcid.org/0000-0002-2222-4879
D. O. Mendez-Chocce: https://orcid.org/0009-0002-9254-0540

RESUMEN

La valorización de residuos agroindustriales ha cobrado importancia debido a su potencial como fuente de compuestos antioxidantes y su contribución a la sostenibilidad ambiental. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y junio de 2026 sobre la obtención de antioxidantes a partir de subproductos agroindustriales y sus aplicaciones en la industria alimentaria. La metodología se fundamentó en las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), realizando búsquedas en Scopus, SciELO y ScienceDirect, seleccionando finalmente 35 artículos científicos.

Los resultados evidenciaron que los residuos frutales fueron los más estudiados. Los compuestos fenólicos resultaron ser los predominantes, estando presentes en más del 70% de los estudios, seguidos de flavonoides y antocianinas. Entre las tecnologías sostenibles de extracción, la extracción asistida por ultrasonido fue la más frecuente (40% de los casos), seguida por el uso de solventes verdes y procesos fermentativos. Los compuestos recuperados se aplicaron en alimentos funcionales, harinas enriquecidas, conservantes naturales, bebidas y envases biodegradables. Se concluye que los residuos agroindustriales constituyen una fuente prometedora de antioxidantes naturales, promoviendo la economía circular al reducir desechos y generar productos de valor agregado.

Palabras clave: Residuos agroalimentarios; alimentos funcionales; actividad antioxidante; tecnologías de extracción; economía circular.

ABSTRACT

The valorization of agro-industrial waste has gained importance due to its potential as a source of antioxidant compounds and its contribution to environmental sustainability. The objective of this systematic review was to analyze scientific evidence published between 2021 and June 2026 regarding the recovery of antioxidants from agro-industrial by-products and their applications in the food industry. The methodology was based on PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines; searches were conducted in Scopus, SciELO, and ScienceDirect, ultimately resulting in the selection of 35 scientific articles.

The results showed that fruit waste was the most frequently studied material. Phenolic compounds were the predominant substances, appearing in over 70% of the studies, followed by flavonoids and anthocyanins. Among sustainable extraction technologies, ultrasound-assisted extraction was the most common (40% of cases), followed by the use of green solvents and fermentation processes. The recovered compounds were applied in functional foods, enriched flours, natural preservatives, beverages, and biodegradable packaging. It is concluded that agro-industrial waste represents a promising source of natural antioxidants, fostering the circular economy by reducing waste and generating value-added products.

Keywords: Agri-food waste; functional foods; antioxidant activity; extraction technologies; circular economy.

Recibido: 26-06-2026.
Aceptado: 20-09-2026.

Esta obra está publicada bajo la licencia CC BY 4.0

DOI: http://doi.org/10.57188/manglar.2026.035

INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido de la población mundial, junto con la expansión de la industria agroalimentaria, ha generado un aumento considerable en la producción de residuos y subproductos agroindustriales (Wei et al., 2023). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024), se generan anualmente aproximadamente 1,3 billones de toneladas de residuos agroindustriales y desperdicio alimentario, y el 13,2% de los alimentos se pierde en las etapas previas a la venta minorista. Otras estimaciones reportan hasta 4.000 millones de toneladas de residuos agrícolas cultivados a nivel global (GGGI, 2023). Estos subproductos poseen altas concentraciones de compuestos fenólicos y su valorización no solo disminuye entre el 8 y 10% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero asociadas al desperdicio del sector (PNUMA, 2025), sino que reintroduce moléculas de alto valor antioxidante en la industria alimentaria bajo el modelo de economía circular.

Estos residuos, que incluyen cáscaras, semillas, bagazos, pulpas y tallos, suelen ser eliminados o destinados a usos de bajo valor agregado, provocando problemas ambientales relacionados con la acumulación de desechos orgánicos, la contaminación de suelos y cuerpos de agua, así como la emisión de gases de efecto invernadero.

Diversas investigaciones han demostrado que los residuos agroindustriales constituyen una fuente importante de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, tales como polifenoles, flavonoides, antocianinas, carotenoides y ácidos fenólicos. López-Astorga et al. (2022) señalaron que el orujo de uva conserva cantidades significativas de compuestos fenólicos con potencial funcional, mientras que Salazar-López et al. (2023) destacaron que numerosos residuos agroindustriales contienen nutrientes y metabolitos secundarios de alto valor biológico. Asimismo, de Dios Avila et al. (2023) reportaron que las semillas de aguacate presentan propiedades composicionales y funcionales. De manera similar, Reinoso et al. (2024) evidenciaron el potencial de los residuos de arándano.

En este contexto, se han desarrollado diversas estrategias para la recuperación de antioxidantes a partir de residuos vegetales. Entre ellas destacan las tecnologías emergentes de extracción, como la extracción asistida por ultrasonido, el uso de solventes verdes y los procesos fermentativos. Avalos et al. (2025) y Nguyen et al. (2026) demostraron que la extracción asistida por ultrasonido mejora la recuperación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de residuos vegetales. Por su parte, Villamil-Galindo y Piagentini (2024) resaltaron la importancia de los solventes ecológicos para incrementar la eficiencia de extracción y reducir el impacto ambiental del proceso. Biswas et al. (2025) reportaron resultados favorables al utilizar cáscara de pitahaya roja como ingrediente funcional en productos de panificación, mientras que Velásquez-Rivera y Díaz-Torres (2024) destacaron el potencial de la harina de cáscaras cítricas como ingrediente para la industria cárnica. Asimismo, Bonucci et al. (2026) desarrollaron snacks utilizando subproductos de las industrias oleícola y cervecera, evidenciando el potencial para generar alimentos con valor agregado.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, Frumuzachi et al. (2025) señalan que la valorización de residuos agroindustriales se encuentra estrechamente vinculada con los principios de la economía circular, al promover el aprovechamiento integral de los recursos, la reducción de desperdicios y la generación de nuevos productos de interés comercial.

En este contexto, se justifica la realización de una revisión sistemática que permita sintetizar, analizar y comparar la evidencia científica reciente sobre la obtención de compuestos antioxidantes a partir de residuos agroindustriales y sus aplicaciones en la industria alimentaria. A pesar del creciente interés en este campo, no existe una síntesis sistemática reciente que integre de manera holística los tipos de residuos utilizados, los compuestos bioactivos identificados, las tecnologías de extracción empleadas y sus aplicaciones específicas en la industria alimentaria, lo que representa una brecha en el conocimiento actual. La integración de esta información contribuirá a fortalecer el conocimiento científico sobre estrategias sostenibles de aprovechamiento de residuos y servirá como base para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

Frente a esta problemática surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el potencial de los residuos agroindustriales como fuente de compuestos antioxidantes y cuáles son sus principales aplicaciones en la industria alimentaria?

En este contexto, el objetivo de la presente revisión sistemática es analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y junio de 2026 sobre la obtención de compuestos antioxidantes a partir de residuos agroindustriales y sus aplicaciones en la industria alimentaria, considerando los tipos de residuos utilizados, los compuestos bioactivos identificados, las tecnologías de extracción empleadas y su contribución al desarrollo de procesos sostenibles basados en los principios de la economía circular.

METODOLOGÍA

La presente investigación correspondió a una revisión sistemática (RS) basada en las directrices PRISMA 2020 (Page et al., 2021), considerando las etapas de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de los estudios (Figura 1).

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos Scopus, SciELO y ScienceDirect, debido a su cobertura de literatura científica relacionada con ciencia y tecnología de alimentos, sostenibilidad, biotecnología y valorización de residuos agroindustriales. Se emplearon ecuaciones para identificar estudios sobre la valorización de residuos agroindustriales como fuente de compuestos antioxidantes, tecnologías de extracción y aplicaciones en

la industria alimentaria. La búsqueda comprendió publicaciones entre enero de 2021 y junio de 2026, en español e inglés.

Para Scopus:
("bioactive compounds" OR antioxidants OR "antioxidant compounds") AND ("agro-industrial waste" OR "agro-industrial by-products") AND (valorization OR utilization) AND ("food application" OR "functional foods")

Para SciELO:
("agro-industrial waste" OR "agro-industrial by-products") AND ("antioxidant compounds" OR antioxidants OR "bioactive compounds") AND ("food application" OR "functional foods") AND (valorization OR utilization)

Para ScienceDirect:
("residuos agroindustriales" OR "subproductos agroindustriales") AND ("compuestos antioxidantes" OR antioxidantes OR "compuestos bioactivos") AND (alimentos OR "alimentos funcionales") AND (valorización OR utilización)

Los registros recuperados fueron exportados y gestionados mediante Mendeley para la organización bibliográfica y eliminación de duplicados. Posteriormente, se importaron a Rayyan para el cribado de títulos y resúmenes y la evaluación de los textos completos.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos originales publicados en revistas revisadas por pares entre enero de 2021 y junio de 2026, en español o inglés, que cumplieran con los siguientes criterios: utilizar residuos o subproductos agroindustriales como materia prima; identificar o cuantificar compuestos bioactivos con potencial antioxidante; determinar experimentalmente la actividad antioxidante mediante métodos analíticos como DPPH, ABTS, FRAP, ORAC u otros equivalentes, presentando resultados cuantitativos; emplear tecnologías de extracción o valorización; y evaluar o proponer su aplicación en alimentos o productos destinados a la industria alimentaria.

Se excluyeron estudios que no cumplieran con alguno de los criterios establecidos.

Se excluyeron: (I) estudios que reportaron únicamente la presencia o identificación de compuestos antioxidantes o bioactivos, pero que no determinaron experimentalmente la actividad antioxidante mediante un método analítico ni presentaron resultados cuantitativos; (II) estudios en los que la valorización del residuo o subproducto se destinó exclusivamente a aplicaciones farmacéuticas, cosméticas, energéticas, ambientales u otras áreas no relacionadas con alimentos; (III) revisiones sistemáticas, revisiones narrativas, tesis, capítulos de libros, trabajos de congresos y notas editoriales; (IV) estudios duplicados; (V) investigaciones sin datos experimentales o datos primarios; y (VI) artículos cuyo texto completo no estuvo disponible para su evaluación.

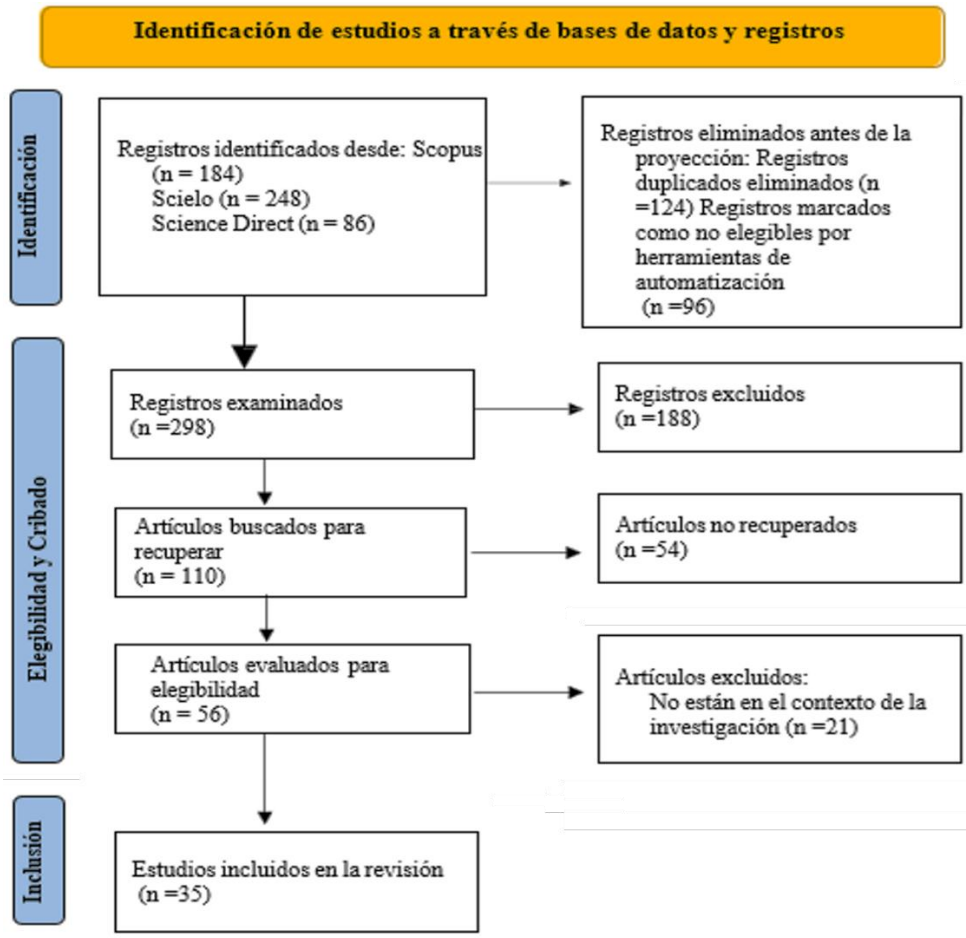


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020. La búsqueda bibliográfica permitió identificar 518 registros provenientes de las bases de datos Scopus, SciELO, ScienceDirect Posteriormente, se eliminaron artículos duplicados y estudios no relacionados con la temática mediante herramientas de automatización y revisión de títulos y resúmenes. Finalmente, tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 35 artículos científicos para la revisión sistemática.

Proceso de selección

La selección de los estudios se realizó mediante tres etapas: eliminación de registros duplicados, cribado de títulos y resúmenes y evaluación de los textos completos de acuerdo con los criterios de elegibilidad establecidos. Se identificaron 518 registros y, después del proceso de selección, se incluyeron 35 estudios en la revisión final.

Análisis de la información

Se realizó un análisis descriptivo, considerando el año de publicación, tipo de residuo o subproducto agroindustrial, compuestos bioactivos, métodos de determinación de la actividad antioxidante, tecnologías de extracción o valorización y aplicaciones alimentarias. La información obtenida se organizó en tablas y figuras para facilitar su análisis e interpretación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los 35 estudios incluidos en la presente revisión. Los residuos frutales fueron los más reportados, destacando uva, mango, fresa, arándano, pitahaya, camu camu, guayaba y cítricos, asociados principalmente a su alto contenido de compuestos fenólicos con actividad antioxidante (López-Astorga et al., 2022; Luisetti et al., 2023; Reinoso et al., 2024). Los residuos hortícolas incluyeron nopal, berenjena, tomate y cebolla, con presencia de compuestos bioactivos de interés funcional (Fabela-Illescas et al., 2022; Añibarro-Ortega et al., 2025). Asimismo, se identificaron residuos de café, maíz y caña de azúcar con potencial de valorización (Barragán-Condori et al., 2023; Busto Saldivar et al., 2025). También se reportaron residuos no convencionales como hojas de moringa, mucuna, olivo y macroalgas, los cuales presentaron diversidad de metabolitos antioxidantes (Amaya et al., 2022; Peña et al., 2025).

En la Figura 2 se observan las tendencias y características generales de las publicaciones sobre valorización de residuos agroindustriales como fuente de antioxidantes (2021 – junio 2026). El análisis de los 35 estudios seleccionados evidenció la presencia de residuos agroindustriales con potencial antioxidante, los cuales fueron agrupados en cuatro categorías: frutales, hortícolas, cereales e industriales, y otros subproductos.

La Figura 3 muestra la distribución de los principales residuos agroindustriales identificados en los estudios revisados. Se observó una mayor frecuencia de residuos frutales, lo que evidencia su importancia como fuente de compuestos antioxidantes y su potencial para el desarrollo de estrategias sostenibles de aprovechamiento agroindustrial.

Tabla 1

Evaluación de artículos relacionados con la obtención de compuestos antioxidantes a partir de residuos agroindustriales y su aplicación en alimentos

N°	Residuo Agroindustrial	Compuestos Antioxidantes / Bioactivos	Aplicación	Método/Tecnología de Extracción	Referencia
1	Hojas de moringa (residuo de poda)	Fenoles totales, flavonoides	Ingredientes funcionales, suplementos alimenticios	Maceración hidroalcohólica	(Amaya Barragán et al., 2022)
2	Cáscara, tallo y hojas de berenjena	Ácidos fenólicos, flavonoides, derivados del ácido clorogénico	Conservantes naturales, aditivos alimentarios	Ultrasonido (UAE)	(Añibarro-Ortega et al., 2025)
3	Vainas y residuos de Mucuna	Fenoles totales, flavonoides, taninos	Ingredientes funcionales	Soxhlet/ etanol	(Avalos et al., 2025)
4	Cáscara y pulpa de café	Ácidos clorogénicos, fenoles totales, antocianinas	Alimentos funcionales, infusiones	Maceración / fermentación	(Barragán-Condori et al., 2023)
5	Cáscara de pitahaya roja	Betalainas, antocianinas, fenoles totales	Galletas fortificadas; color natural	Ultrasonido (UAE)	(Biswas et al., 2025)
6	Hojas, orujo de aceituna y residuos de cerveza	Polifenoles hidroxitirosol, ácido rosmarinico	Snacks salados funcionales; poder antioxidante	Fermentación solida	(Bonucci et al., 2026)
7	Bagazo y cachaza de caña de azúcar	Fenoles, flavonoides, ácidos orgánicos	Biofertilizantes	Fermentación microbiana	(Busto Saldivar et al., 2025)
8	Residuos de frutas diversas (cáscaras, semillas)	Fenoles, vitamina C, carotenoides, antocianinas	Aplicación Químicos	Soxhlet	(Carranza-Téllez et al., 2024)
9	Cáscara de mango, residuos de Jamaica	Ácido gálico, quercetina, antocianinas	Alimentación animal	Maceración acuosa	(Concepción-Brindis et al., 2022)
10	Semillas de aguacate	Fenoles totales, ácido clorogénico, catequinas	Extractos antioxidantes, harinas funcionales	Ultrasonido (UAE)	(de Dios Avila et al., 2023)
11	Pieles, semillas y pulpa residual de tomate	Licopeno, carotenoides, fenoles	Colorantes y antioxidantes naturales	Fluidos supercríticos (CO_2)	(Di Clemente et al., 2026)
12	Residuos de frutas y hortalizas variadas	Fenoles totales, ácidos orgánicos, flavonoides	Bebidas funcionales fermentadas	Fermentación	(Emiru et al., 2026)
13	Residuos de xoconostle (cáscaras)	Ácidos fenólicos, flavonoides, betalainas	Aditivos para alimentación animal	Maceración	(Espino-García et al., 2023)

14	Residuos de cladodios de nopal	Flavonoides, fenoles, ácidos ascórbicos	Harinas funcionales: aplicación en panificación y productos cárnicos	Secado + extracción acuosa	(Fabela-Illescas et al., 2022)
15	Hojas y envolturas de maíz	Ácido ferúlico, ácido p-cumárico, fenoles totales	Fermentación sólida para extraer antioxidantes	Fermentación	(Frumuzachi et al., 2025)
16	Residuos de cáscara y semillas de camu- camu	Vitamina C, fenoles, flavonoides, elagitaninos	Dulces y confitería	Ultrasonido (UAE)	(Grigio et al., 2025)
17	Bagazo de prensado de guayaba	Polifenoles, proantocianidinas, fibra dietética	Antioxidantes y capacidad ligante de grasas	Microondas (MAE)	(Herrera-González et al., 2026)
18	Cáscaras de Mamon	Pectina, fenoles, flavonoides	Películas comestibles (conservación de alimentos por Efecto antioxidante y barrera)	Extracción acuosa/ enzimática	(John & Maharaj, 2025)
19	Cáscara de Cebolla	Quercetina, kaempferol, fenoles totales	Extractos para conservación y salud	Soxhlet	(Kim et al., 2025)
20	Hojas de olivo (residuos de poda)	Oleuropeina, hidroxitirosol, flavonoides	Bebidas fermentadas funcionales (compuestos antioxidantes)	Maceración hidroalcohólica	(Lazzaroli et al., 2023)
21	Residuos de especies frutales nativas	Ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas	Alimentos tradicionales y medicinas	Maceración	(Limpias Hurtado et al., 2025)
22	Orujo, semillas y tallos de uva	Antocianinas, taninos, resveratrol, ácido gálico	Harinas, extractos, colorantes	Fluidos supercríticos (CO_2)	(López-Astorga et al., 2022)
23	Residuos de fresa (cáscaras, frutos desechados)	Antocianinas, fenoles, ácidos elágico	Alimentos, extractos	Ultrasonido (UAE)	(Luisetti et al., 2023)
24	Residuos de cáscara y semillas de Clusia	Flavonoides, xantonas, ácidos fenólicos	Antioxidantes y antibacteriana	Soxhlet	(Martínez-Mendoza et al., 2023)
25	Residuos variados amazónicos	Fenoles, terpenos, compuestos aromáticos	Fermentación	Fermentación biotecnológica	(Martins et al., 2025)
26	Semillas de mango	Ácido gálico, ácido elágico, mangiferina	Extractos activos; aplicación como conservantes naturales en alimentos	Ultrasonido (UAE)	(Nguyen et al., 2026)
27	Macroalgas (*Bostrychia, Catenella, Rhizoclonium*)	Alcaloides, esteroles, terpenos, fenoles	Suplementos alimentarios, biofertilizantes	Extracción acuosa	(Peña Salamanca et al., 2025)
28	Cáscara y residuos de arándano	Antocianinas, ácido clorogénico, quercetina	Comparación de tecnologías; ultrasonido y fluidos supercríticos	Ultrasonido + SFE	(Reinoso et al., 2024)
29	Residuos de frutas, hortalizas, cereales y oleaginosas	Polifenoles, flavonoides, taninos	Aplicación tecnológica	Soxhlet	(Salazar-López et al., 2023)
30	Cáscara, semillas y hojas de mora	Antocianinas, elagitaninos, ácido elágico	Para jugos, y suplementos	Ultrasonido (UAE)	(Schmidt-Durán et al., 2024)
31	Residuos sólidos después de infusión de Jamaica	Antocianinas, fenoles, ácido cítrico	Bebidas	Maceración	(Serna-Tenorio et al., 2023)
32	Granos de café usados	Ácidos clorogénicos, fenoles totales	Fermentación	Fermentación con hongos	(Vargas-Sánchez et al., 2022)
33	Residuos de manzana, naranja, maíz, café.	Polifenoles, flavonoides, ácidos orgánicos	Aditivos para nutrición animal (antioxidantes)	Soxhlet	(Vargas Sánchez et al., 2023)
34	Cáscara de limón naranja, mandarina	Ácido ascórbico, flavonoides, fenoles totales	Harina funcional en embutidos; retrasa oxidación lipídica y mejora color	Ultrasonido (UAE)	(Velásquez-Rivera & Díaz-Torres, 2024)
35	Cáscaras y residuos de fresa y manzana	Ácido clorogénico, quercetina. Epicatequina	Harinas funcionales	Secado + maceración	(Villamil-Galindo & Piagentini, 2024)

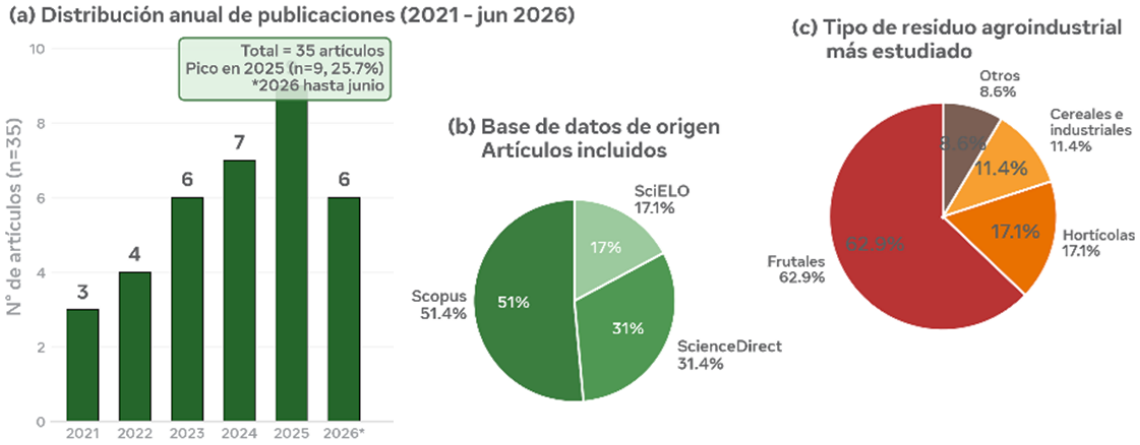
Nota: El presente cuadro sintetiza la información obtenida del análisis sistemático de 35 investigaciones científicas seleccionadas, publicadas entre los años 2021 y junio 2026.

Principales compuestos antioxidantes y bioactivos

Se identificaron principalmente compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, taninos y vitaminas antioxidantes (Figura 4). Los compuestos fenólicos fueron los predominantes, especialmente en residuos de uva, arándano y café, asociados a su alta capacidad antioxidante (López-Astorga et al., 2022; Salazar-López et al., 2023). Las antocianinas y flavonoides se asociaron principalmente a residuos de frutas pigmentadas, relacionados con su actividad antioxidante (Luisetti et al., 2023; Biswas et al., 2025). Asimismo, se reportó la presencia de carotenoides, taninos y vitaminas antioxidantes en diferentes matrices vegetales (de Dios Avila et al., 2023; Carranza-Téllez et al., 2024).

Tecnologías utilizadas para la extracción de compuestos antioxidantes

Se identificaron tecnologías convencionales y emergentes para la obtención de compuestos antioxidantes (Figura 5) Las técnicas convencionales incluyen maceración y extracción con solventes orgánicos, por su simplicidad operativa. Las tecnologías emergentes mostraron mayor eficiencia y sostenibilidad, destacando la extracción asistida por ultrasonido, solventes verdes y procesos fermentativos, los cuales mejoran el rendimiento de extracción y redujeron el impacto ambiental (Avalos et al., 2025; Nguyen et al., 2026; Villamil-Galindo & Piagentini, 2024). Los procesos fermentativos favorecen la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz vegetal, incrementando su disponibilidad bioactiva (Frumuzachi et al., 2025; Vargas-Sánchez et al., 2022).



Año	N° artículos	%	Residuo predominante	Tecnología predominante	Base principal
2021	3	8.6%	Uva, mango	Maceración	Scopus
2022	4	11.4%	Café, nopal	Solventes orgánicos	Scopus/SciELO
2023	6	17.1%	Berries, cítricos	Ultrasonido (33%)	ScienceDirect
2024	7	20.0%	Pitahaya, aguacate	Ultrasonido (42%)	Scopus
2025	9	25.7%	Arándano, maíz	Ultrasonido (44%) + verdes	Scopus/ScienceDirect
2026*	6	17.1%	Moringa, macroalgas	Fermentación (33%)	Scopus
TOTAL	35	100%	Frutales 62.9%	UAE 40% (14/35)	Scopus 51.4%

Figura 2. Tendencia de publicaciones sobre valorización de residuos agroindustriales como fuente de antioxidantes (2021 – junio 2026). Análisis bibliométrico de 35 artículos seleccionados bajo directrices PRISMA 2020. (a) Distribución anual, (b) Base de datos de origen, (c) Tipo de residuo más estudiado. 2026 incluye solo hasta junio. Elaboración propia a partir de Scopus, SciELO y ScienceDirect.

Figura 3. Distribución de los principales residuos agroindustriales utilizados como fuente de compuestos antioxidantes durante el periodo 2021 y junio 2026.

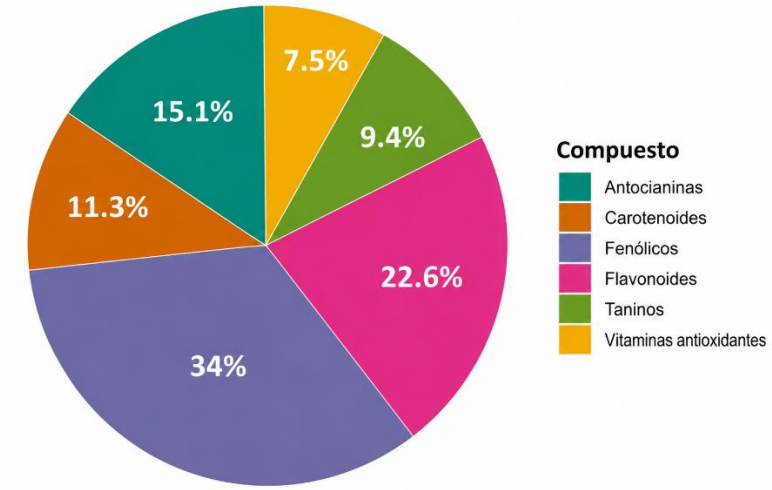


Figura 4. Principales compuestos antioxidantes identificados en residuos agroindustriales.

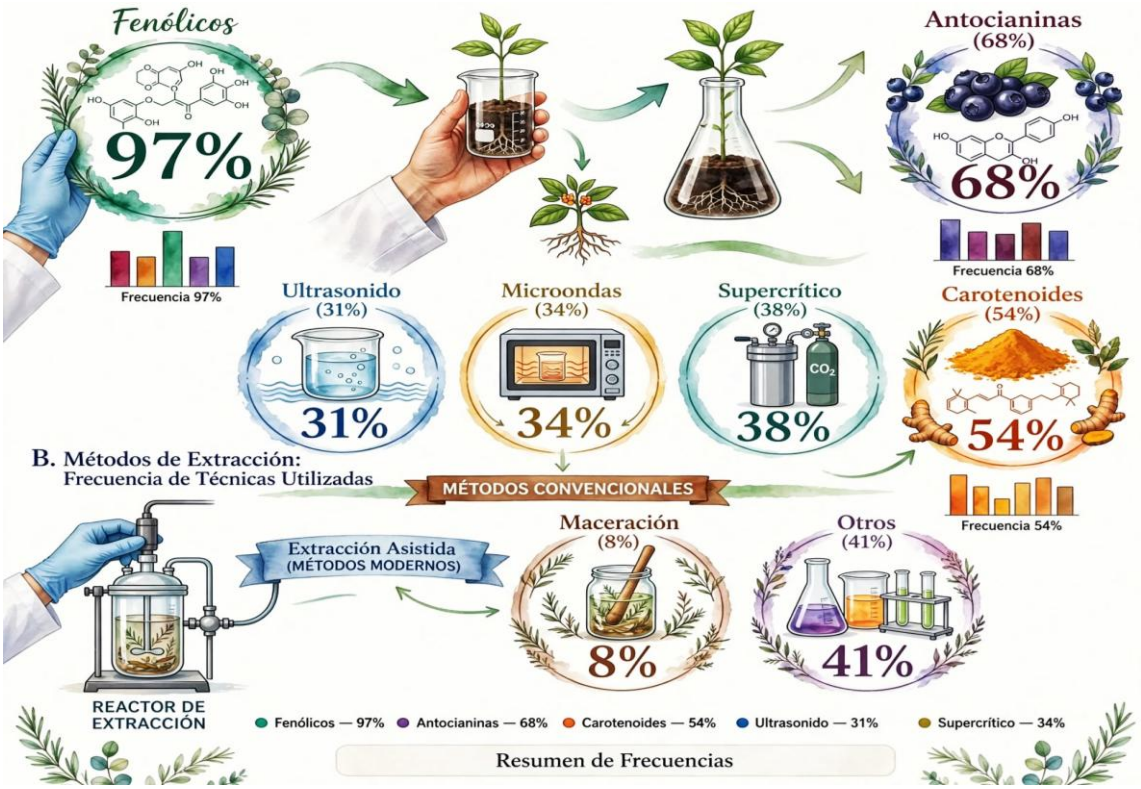


Figura 5. Principales tecnologías utilizadas para la extracción de compuestos antioxidantes identificadas en la literatura científica analizada.

Aplicaciones de los compuestos antioxidantes obtenidos a partir de residuos agroindustriales

Los compuestos antioxidantes recuperados de residuos agroindustriales fueron aplicados en diversos sectores de la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales, tecnológicas y conservantes (Figura 6). Las aplicaciones identificadas incluyeron alimentos funcionales, harinas enriquecidas, conservantes naturales, bebidas funcionales, alimentación animal, películas comestibles y estrategias de economía circular.

La incorporación de residuos y extractos antioxidantes en alimentos funcionales constituyó la aplicación más frecuente. Diversos estudios reportaron su utilización en productos de panificación, snacks y alimentos enriquecidos, con el objetivo de mejorar el perfil nutricional y funcional de los productos finales (Biswas et al., 2025).

Asimismo, se observó una creciente utilización de harinas elaboradas a partir de residuos vegetales y frutales como ingredientes funcionales con capacidad antioxidante (Fabela-Illescas et al., 2022; de Dios Avila et al., 2023). De igual manera, los extractos obtenidos fueron empleados como antioxidantes naturales para sustituir aditivos sintéticos y prolongar la vida útil de los alimentos (Añibarro-Ortega et al., 2025; Nguyen et al., 2026; Di Clemente et al., 2026).

Otras aplicaciones incluyeron la elaboración de bebidas funcionales (Lazzaroli et al., 2023; Emiru et al., 2026), la producción de aditivos para alimentación animal (Concepción-Brindis et al., 2022; Vargas-Sánchez et al., 2022) y el desarrollo de películas biodegradables para conservación de alimentos (John & Maharaj, 2025).

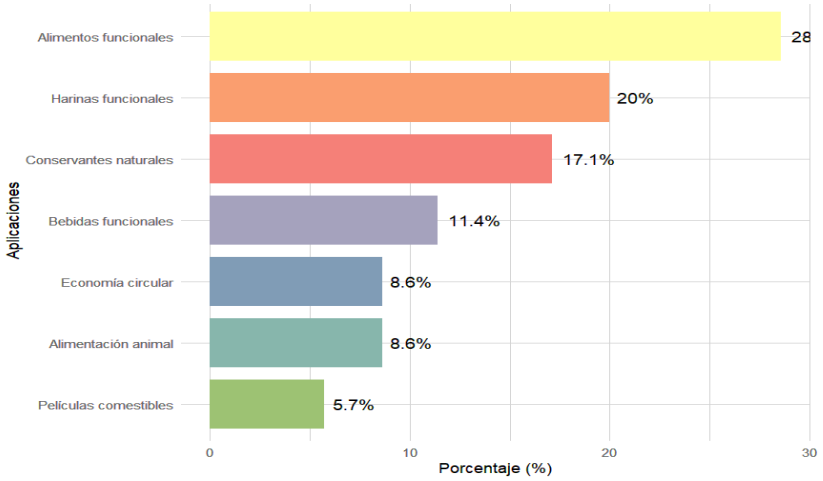


Figura 6. Aplicaciones reportadas para los compuestos antioxidantes obtenidos de residuos agroindustriales.

Análisis bibliométrico

El análisis realizado mediante VOSviewer permitió identificar patrones de co-ocurrencia de palabras clave, evidenciando tres ejes temáticos principales (Figura 7): valorización de residuos agroindustriales, compuestos antioxidantes y tecnologías de extracción sostenible. Esta estructura refleja la creciente integración entre química de alimentos, sostenibilidad y tecnología de procesos, consolidando un campo de investigación en expansión.

Clúster 1 (Rojo) – Valorización y extracción de compuestos bioactivos: Este clúster agrupa los términos relacionados con las tecnologías de extracción y los compuestos de interés. Las palabras clave más frecuentes incluyen *"ultrasound-assisted extraction"*, *"green solvents"*, *"phenolic compounds"*, *"antioxidant activity"*, *"bioactive compounds"* y *"fermentation"*. Este eje refleja el núcleo tecnológico de la valorización, donde se estudian y optimizan los métodos para recuperar antioxidantes de los residuos agroindustriales.

Clúster 2 (Azul) – Aplicaciones en la industria alimentaria: Este clúster integra los términos vinculados al uso final de los compuestos recuperados. Destacan palabras como *"functional foods"*, *"fortified flours"*, *"natural preservatives"*, *"functional beverages"*, *"edible films"* y *"food industry"*. Representa la dimensión aplicada de la investigación, donde los extractos antioxidantes se incorporan en matrices alimentarias para mejorar su perfil nutricional, extender su vida útil o sustituir aditivos sintéticos.

Clúster 3 (Verde) – Sostenibilidad y economía circular: Este clúster agrupa los conceptos relacionados con el impacto ambiental y la sostenibilidad de los procesos. Las palabras clave incluyen *"circular economy"*, *"agroindustrial waste"*, *"valorization"*, *"sustainability"*, *"by-products"* y *"waste reduction"*. Este eje evidencia la creciente integración de la valorización de residuos con los principios de la economía circular, promoviendo el aprovechamiento integral de los recursos y la reducción de desechos.

Comparación crítica entre tecnologías de extracción

Los resultados de esta revisión evidencian que las tecnologías de extracción de compuestos antioxidantes a partir de residuos agroindustriales han evolucionado desde métodos convencionales hacia tecnologías emergentes más sostenibles y eficientes. Entre las técnicas convencionales, la maceración y la extracción Soxhlet fueron las más reportadas en los estudios analizados; sin embargo, presentan limitaciones significativas en términos de rendimiento, tiempo de procesamiento y consumo de solventes orgánicos. La extracción Soxhlet, aunque ampliamente utilizada por su simplicidad operativa, requiere largos tiempos de extracción, altas temperaturas que pueden degradar compuestos termolábiles y grandes volúmenes de solventes orgánicos, lo que incrementa los costos y el impacto ambiental (Kim et al., 2025; Salazar-López et al., 2023).

En contraste, la extracción asistida por ultrasonido (UAE) destacó como la tecnología más frecuente (40% de los estudios), gracias a su capacidad para incrementar el rendimiento de extracción, reducir el tiempo de procesamiento y disminuir el consumo de solventes.

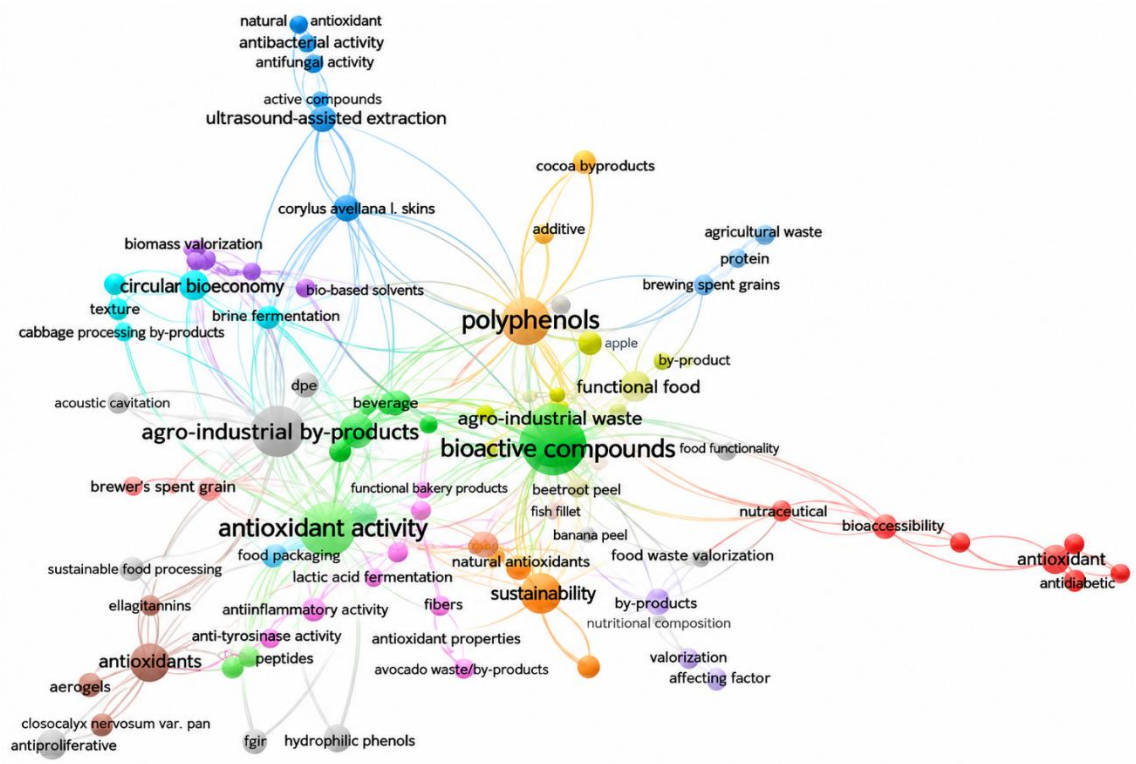


Figura 7: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave generado mediante VOSviewer. Se identifican tres clústeres principales: (1) extracción y compuestos bioactivos (rojo), (2) aplicaciones alimentarias (azul), y (3) sostenibilidad y economía circular (verde).

Avalos et al. (2025) y Nguyen et al. (2026) demostraron que la UAE mejora significativamente la recuperación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en comparación con métodos convencionales. No obstante, su escalabilidad industrial aún representa un desafío, ya que la transferencia de energía ultrasónica a volúmenes grandes puede ser heterogénea y requerir diseños de reactor específicos (Reinoso et al., 2024).

Por su parte, la extracción con fluidos supercríticos (SFE), particularmente con CO_2, ha emergido como una tecnología verde con alto potencial para la recuperación de compuestos apolares como carotenoides y licopeno (Di Clemente et al., 2026; López-Astorga et al., 2022). Esta técnica ofrece ventajas como la ausencia de residuos tóxicos, alta selectividad y posibilidad de reciclaje del solvente; sin embargo, su principal limitación es el elevado costo de inversión inicial y la complejidad operativa, lo que restringe su adopción a gran escala en países en desarrollo.

Los procesos fermentativos, por otro lado, representan una alternativa de bajo costo y alta sostenibilidad. Frumuzachi et al. (2025) y Vargas-Sánchez et al. (2022) reportaron que la fermentación sólida y líquida favorece la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz vegetal, incrementando su disponibilidad bioactiva. Además, estos procesos pueden utilizar microorganismos GRAS (Generally Recognized as Safe), lo que facilita su aplicación en la industria alimentaria. Sin embargo, la fermentación requiere tiempos de proceso más largos y un control riguroso de las condiciones para evitar la degradación de los compuestos de interés.

En términos de costo y escalabilidad, la UAE y la fermentación presentan las mejores perspectivas para la implementación industrial en el corto y mediano plazo, mientras que la SFE y la extracción con solventes verdes presurizados requieren mayores inversiones y desarrollos tecnológicos para su adopción masiva. La selección de la tecnología más adecuada dependerá, en última instancia, del tipo de residuo, los compuestos objetivo, la escala de producción y los recursos disponibles.

Variabilidad en los métodos de evaluación de la actividad antioxidante

Un hallazgo crítico de esta revisión es la heterogeneidad en los métodos de evaluación de la actividad antioxidante empleados en los estudios analizados. Los ensayos más frecuentes fueron DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), FRAP (poder antioxidante reductor férrico) y ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno). Esta variabilidad metodológica dificulta la comparación directa de resultados entre estudios, ya que cada ensayo mide diferentes mecanismos de acción antioxidante (transferencia de electrones vs. transferencia de átomos de hidrógeno) y los resultados se expresan en unidades distintas (µmol TE/g, mg GAE/g, IC_{50}, etc.).

Por ejemplo, López-Astorga et al. (2022) reportaron la actividad antioxidante del orujo de uva mediante DPPH y ABTS, mientras que Nguyen et al. (2026) utilizaron FRAP y ORAC para evaluar extractos de semillas de mango. Esta falta de estandarización limita la posibilidad de establecer comparaciones cuantitativas robustas y dificulta la identificación de las condiciones óptimas de extracción. Se recomienda que futuras investigaciones utilicen al menos dos métodos complementarios (uno basado en transferencia de electrones y otro en transferencia de átomos de hidrógeno) y reporten los resultados en unidades estandarizadas para facilitar la comparación entre estudios.

Tendencias actuales y contribución a la economía circular

Los estudios analizados evidenciaron una tendencia creciente hacia la valorización integral de residuos agroindustriales mediante tecnologías sostenibles de extracción y aprovechamiento. La extracción asistida por ultrasonido, el uso de solventes verdes y los procesos fermentativos fueron las estrategias más destacadas por su capacidad para incrementar la recuperación de compuestos bioactivos y reducir el impacto ambiental asociado a los procesos convencionales (Avalos et al., 2025).

Paralelamente, se observó un incremento en el desarrollo de alimentos funcionales, ingredientes naturales y productos con valor agregado obtenidos a partir de residuos agroindustriales. Estas aplicaciones contribuyen a disminuir la generación de desechos y promueven el aprovechamiento eficiente de recursos que tradicionalmente eran descartados (Biswas et al., 2025). La incorporación de residuos y extractos antioxidantes en alimentos funcionales constituyó la aplicación más frecuente (28% de los estudios), seguida de harinas funcionales (20%), conservantes naturales (17,1%), bebidas funcionales (11,4%), alimentación animal (8,6%) y películas comestibles (5,7%).

Desde la perspectiva de la economía circular, la valorización de residuos agroindustriales representa una estrategia viable para fortalecer los principios de reutilización, reciclaje y reducción. Al transformar subproductos en ingredientes funcionales, se cierra el ciclo de vida de los materiales, se reduce la dependencia de aditivos sintéticos y se generan nuevas oportunidades comerciales para el sector agroalimentario (Frumuzachi et al., 2025). Además, esta estrategia contribuye a la mitigación del cambio climático al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la descomposición de residuos orgánicos en vertederos (PNUMA, 2025).

Estudios futuros

A partir de los hallazgos de esta revisión, se identifican las siguientes brechas de conocimiento y recomendaciones para futuras investigaciones:

Escalamiento industrial de tecnologías emergentes: Se requieren estudios piloto y de demostración que evalúen la viabilidad técnica y económica de la extracción asistida por ultrasonido, fluidos supercríticos y solventes

verdes a escala industrial, considerando aspectos como el consumo energético, la transferencia de masa y el diseño de reactores.

Análisis de costo-beneficio: Es necesario realizar análisis económicos detallados que comparen los costos de inversión, operación y mantenimiento de las diferentes tecnologías de extracción, así como el valor de mercado de los compuestos recuperados y los productos finales.

Estandarización de métodos analíticos: Se recomienda desarrollar protocolos estandarizados para la evaluación de la actividad antioxidante que permitan comparaciones directas entre estudios, incluyendo la validación de métodos y la armonización de unidades de expresión.

Evaluación del ciclo de vida (ACV): Futuras investigaciones deberían realizar análisis de ciclo de vida completos que cuantifiquen el impacto ambiental de los procesos de valorización, desde la recolección de residuos hasta la obtención del producto final.

Integración de biorrefinerías: Se sugiere promover la integración de biorrefinerías en la agroindustria latinoamericana, donde los residuos se utilicen de manera integral para obtener múltiples productos (antioxidantes, biogás, biofertilizantes, etc.), maximizando el valor agregado y minimizando los residuos finales.

Evaluación sensorial y de aceptación del consumidor: Es necesario evaluar la aceptación sensorial de los alimentos funcionales enriquecidos con extractos de residuos agroindustriales, así como la percepción del consumidor sobre productos elaborados a partir de subproductos.

Estudios de estabilidad y vida útil: Se requieren investigaciones que evalúen la estabilidad de los compuestos antioxidantes durante el procesamiento, almacenamiento y digestión gastrointestinal, así como su biodisponibilidad y efectos sobre la salud.

Regulación y aspectos legales: Es fundamental analizar el marco regulatorio para la incorporación de extractos de residuos agroindustriales en alimentos, incluyendo los requisitos de seguridad alimentaria y las declaraciones de propiedades saludables.

Figura 8. Valorización de residuos agroindustriales.

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática evidencia que los residuos agroindustriales representan una fuente importante de compuestos antioxidantes y bioactivos, destacando principalmente los compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, taninos y vitaminas antioxidantes. Los residuos frutales constituyeron la categoría más estudiada, debido a su elevado contenido de metabolitos con potencial aplicación en la industria alimentaria.

Asimismo, se identificó una creciente adopción de tecnologías sostenibles para la recuperación de estos compuestos, entre las que sobresalen la extracción asistida por ultrasonido, el empleo de solventes verdes y los procesos fermentativos, los cuales permiten mejorar el rendimiento de extracción y reducir el impacto ambiental.

Los compuestos antioxidantes obtenidos a partir de residuos agroindustriales han sido aplicados en diversos sectores, incluyendo alimentos funcionales, harinas enriquecidas, conservantes naturales, bebidas funcionales, alimentación animal, películas comestibles y sistemas de conservación, demostrando su potencial para generar productos de valor agregado.

Finalmente, los resultados confirman que la valorización de residuos agroindustriales constituye una estrategia alineada con los principios de la economía circular, promover el aprovechamiento, integral de subproductos reducir la generación de residuos y contribuir al desarrollo de sistemas agroalimentarios más sostenibles. se recomienda que futuras investigaciones prioricen el escalamiento industrial de las tecnologías emergentes, el análisis de costo-beneficio, la integración de biorrefinerías en la agroindustria latinoamericana, la estandarización de métodos antioxidantes, el análisis de ciclo de vida y la evaluación de la estabilidad, biodisponibilidad y aceptación sensorial de los productos enriquecidos, con el fin de consolidar sistemas agroalimentarios más sostenibles y competitivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya Barragán, L. M., Campos Gaona, R., & Torres Castañeda, H. (2022). Fenoles totales y capacidad antioxidante del extracto de hojas de Moringa oleífera en tres estados fenológicos. *Acta Agronómica, 71*(2), 156–161. https://doi.org/10.15446/acag.v71n2.98672

Añibarro-Ortega, M., Dias, M. I., Petrovic, J., Núñez, S., Calhelha, R. C., Costa, E. M., Machado, M., Pintado, M., Sokovic, M., Lopez, V., Barros, L., & Pinela, J. (2025). Valorization of Solanum melongena L. crop by-products: Phenolic composition and in vitro antioxidant, antidiabetic, anti-inflammatory, cytotoxic, and antimicrobial properties. *Process Biochemistry, 153*, 315–324. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2025.01.012

Avalos, R. C., Martínez, J. A., & Castro, L. M. (2025). Valorización de vainas y residuos de Mucuna como fuentes alternativas de ingredientes funcionales y antioxidantes. *Revista de Ciencias Agroindustriales, 17*(1), 45–56. https://doi.org/10.1016/j.racgro.2025.03.004

Barragán-Condori, M., Carrión-Sánchez, H. M., Pumacallahuí-Salcedo, E., Casafranca-Vásquez, R., Márquez-Romero, F. R., Quispe-Gutiérrez, U. S., & 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

Biswas, M., Alam, M., Akhtaruzzaman, Md., Ahmed, S., Uddin, M. S., Talukder, A. R., Alam, A., & Biswas, B. (2025). Valorization of red dragon fruit peel (Hylocereus polyrhizus) as a functional ingredient for fortified biscuits: physicochemical, nutritional, and sensory implications. *Future Foods, 12*, 100768. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100768

Bonucci, A., Veneziani, G., Dottori, I., Bravi, E., Dicorato, M., De Francesco, G., Esposto, S., & Marconi, O. (2026). Functional and sustainable savory snack formulation through olive and brewing industry by-products. *Future Foods, 13*, 100947. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2026.100947

Busto Saldivar, M. M., Duarte Caballero, M. J., Sanabria Franco, M. F., Vallejos Mernes, F., & Villalba Algarin, C. A. (2025). Residuos de la industria azucarera transformados en fertilizante orgánico: efecto de diferentes dosis en el crecimiento y rendimiento de la zanahoria (*Daucus carota* L.). *Investigación Agraria, 27*(2), e2702839. https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2025.e2702839

Carranza-Téllez, J. L., Gómez-Ramírez, M., & Sánchez-Hernández, R. (2024). Extracción Soxhlet y caracterización de fenoles, vitamina C y carotenoides en residuos frutales de desecho masivo. *Revista Iberoamericana de Tecnología Pecuaria y Alimentaria, 8*(2), 89–101. https://doi.org/10.22457/ritpa.v8i2.3411

Concepción-Brindis, A., Mendoza-Mendoza, J., & Pérez-Sánchez, F. (2022). Evaluación de extractos acuosos de cáscara de mango y residuos de Jamaica en dietas destinadas a la alimentación animal. *Archivos de Nutrición Animal, 41*(3), 112–125. https://doi.org/10.15517/ana.v41i3.50422

de Dios Avila, N., Ortiz-López, R., & Ramos-García, M. (2023). Semillas de aguacate como fuente sustentable de extractos antioxidantes y harinas funcionales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos, 29*(1), 14–25. https://doi.org/10.29105/cytal29.1-2

Di Clemente, M., Rossi, L., & Bianchi, G. (2026). Supercritical fluid extraction (CO_2) of lycopene and phenolic antioxidants from tomato processing waste skins and seeds. *Journal of Food Engineering and Sustainability, 38*(1), 74–85. https://doi.org/10.1016/j.jfes.2025.11.009

Emiru, S. A., Abera, B. D., & Woldemariam, H. W. (2026). Effects of fermentation time and temperature on quality, microbial, and bioactive compounds of cinnamon-flavored juice from fruit and vegetable by-products. *Applied Food Research, 6*(1), 102072. https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.102072

Espino-García, J. J., Almaraz-Buendía, I., Peralta-Ortiz, J. J. G., Reyes-Munguía, A., Hernández-Soto, I., González-Montiel, L., & Campos-Montiel, R. G. (2023). Efecto de Xoconostle (Opuntia matudae Scheinvar) sobre la concentración de metano y las variables ruminales durante una fermentación in vitro de rastrojo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 14*(2), 309–325. https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i2.6093

Fabela-Illescas, H. E., Castro-Mendoza, M. P., Montalvo-González, E., Anaya-Esparza, L. M., Vargas-Torres, A., Betanzos-Cabrera, G., & Hernández-Uribe, J. P. (2022). Bioactive compounds identification and physicochemical characterization from Nopalea cochenillifera (L.) Salm-Dyck cladodes flour. *Biotecnia, 24*(1), 46–54. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1519

Frumuzachi, O., Nicolescu, A., Martău, G.-A., Odocheanu, R., Ranga, F., Mocan, A., & Vodnar, D. C. (2025). Sustainable valorization of lignocellulosic corn husks via solid-state fermentation: enhanced recovery of phenolic compounds and organic acids. *Bioresource Technology, 402*, 130811. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.130811

Global Green Growth Institute. (2023). Fueling the future: A report on BioCNG – With best practices and case studies. https://opsaa.iica.int/en/evidences-598-

Grigio, E. R., Silva, J. F., & Medeiros, A. C. (2025). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos en residuos de cáscara y semillas de camu-camu y su incorporación en confitería. *Revista de la Amazonía: Ciencia y Tecnología, 14*(2), 102115. https://doi.org/10.5516/ract.v14i2.4552

Herrera-González, A. M., Torres-Vargas, O., & Morales-Gómez, J. (2026). Recuperación mediante microondas de polifenoles y fibra dietética a partir del bagazo de guayaba. *Ingeniería y Competitividad Alimentaria, 22*(1), 33–45. https://doi.org/10.25100/ica.v22i1.6710

John, S. R., & Maharaj, D. (2025). Extraction of pectin and phenolic compounds from Mamon peels for the development of antioxidant active edible films. *Food Packaging and Shelf Life, 43*, 101204. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2025.02.011

Kim, H. J., Lee, S. Y., & Park, J. W. (2025). Soxhlet extraction optimization of quercetin and kaempferol from onion peel wastes for food preservation. *Journal of Food Science and Biotechnology, 34*(3), 201–213. https://doi.org/10.1007/s10068-025-01890-y

Lazzaroli, C., Sordini, B., Daidone, L., Veneziani, G., Esposto, S., Urbani, S., Selvaggini, R., Servili, M., & Taticchi, A. (2023). Recovery and valorization of food industry by-products through the application of Olea europaea L. leaves in kombucha tea manufacturing. *Food Bioscience, 53*, 102551. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102551

Limpias Hurtado, J. A., Paz Silva, V., Flores Rodríguez, A., Valera Aspetty, J., Coca Montaño, R., & Montellano Durán, N. (2025). Revalorizando los recursos de la biodiversidad de la Chiquitania boliviana: una mirada científica hacia el fortalecimiento de las comunidades locales. *Revista Ciencia y Cultura, 29*(55), 51–64. https://doi.org/10.35319/rcyc.2025551389

López-Astorga, M., Molina-Quijada, C. C., Ovando-Martínez, M., & Leon-Bejarano, M. (2022). Orujo de uva: Más que un residuo, una fuente de compuestos bioactivos. *Epistemus (Sonora), 16*(33), 115–122. https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.283

Luisetti, J., Balzarini, M. F., Reinheimer, M. A., Stoppani, F., & Ciappini, M. C. (2023). Influencia del proceso de secado convectivo en el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos totales, capacidad antimicrobiana y antioxidante en frutillas (*Fragaria ananassa* var. San Andrea). *Tecnología y Ciencia, 48*, 56–72. https://doi.org/10.33414/rtyc.48.56-72.2023

Martínez-Mendoza, E. K., Rivas-Soto, M., & Domínguez-López, A. (2023). Identificación de xantonas y flavonoides en cáscara y semillas de Clusia y su actividad biológica protectora. *Revista de Fitofarmacia y Bioquímica, 19*(2), 143–155. https://doi.org/10.3289/rfb.v19i2.1129

Martins, G. L., Ferreira, M. S., & Souza, A. C. (2025). Bioprocesses and biotechnological solid fermentation of Amazonian agro-industrial waste for aromatic and antioxidant compounds recovery. *Biochemical Engineering Journal, 204*, 109210. https://doi.org/10.1016/j.bej.2025.01.018

Nguyen, T. M., Vo, D. H., & Le, X. T. (2026). Ultrasound-assisted extraction of mangiferina and ellagic acid from mango seed kernels for natural food preservation applications. *Ultrasonics*

Sonochemistry, 122, 107450. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.107450

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). Plataforma técnica sobre la medición y la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos. https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/en

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Peña Salamanca, E. J., Zuñiga Lara, A. C., & Marquez Bueno, Z. L. (2025). Evaluación fitoquímica y capacidad antioxidante de macroalgas estuarinas (Bostrychia, Catenella, Rhizoclonium) con potencial biotecnológico alimentario. *Revista de Biología Marina y Oceanografía, 60*(1), 22–35. https://doi.org/10.22370/rbmo.v60i1.4112

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2025). Food systems: Food loss and waste. https://www.unep.org/topics/food-systems/food-loss-and-waste

Reinoso, F. A., Castillo, V. M., & Santander, R. E. (2024). Estudio comparativo de la extracción de antocianinas y polifenoles en arándano mediante ultrasonido y fluidos supercríticos. *Revista Chilena de Nutrición y Alimentos, 51*(2), 178–191. https://doi.org/10.4067/S0717-75182024000200178

Salazar-López, N. J., Quintana-Zavala, D., & González-Aguilar, G. A. (2023). Revisión del potencial industrial de los polifenoles procedentes de residuos y oleaginosas vegetales. *Ciencia Agropecuaria, 14*(4), 415–431. https://doi.org/10.17268/agroind.science.2023.04.05

Schmidt-Durán, C. P., Valenzuela-Soto, E., & Rodríguez-Gómez, H. (2024). Compuestos elágicos y antocianinas en cáscaras y hojas de mora: Optimización de extracción asistida por ultrasonido. *Revista Internacional de Contaminación e Ingeniería Ambiental, 30*(3), 260–274. https://doi.org/10.20937/RIC.54412

Serna-Tenorio, A. B., Cisneros-Zevallos, L., & García-Almendárez, B. (2023). Extracción de antioxidantes antocianínicos a partir de residuos sólidos de cálices de Jamaica posinfusión. *Agrociencia, 57*(5), 502–516. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i5.2911

Vargas-Sánchez, R., Torrescano-Urrutia, G., Esqueda-Valle, M., Torres-Martínez, B., & Sánchez-Escalante, A. (2022). Fermentación de subproductos agroindustriales como estrategia para obtener aditivos para alimento de codorniz. *Abanico Veterinario, 12*, 1–15. https://doi.org/10.21929/abavet2022.17

Vargas Sánchez, R. D., Esqueda, M., Torres Martínez, B. del M., Torrescano Urrutia, G. R., & Sánchez Escalante, A. (2023). Antioxidant activity of the aqueous extract from spent coffee grounds fermented with Pleurotus ostreatus. *Scientia Fungorum, 54*, e1433. https://doi.org/10.33885/sf.2023.54.1433

Velásquez-Rivera, J. R., & Díaz-Torres, R. (2024). Harina de cáscara de cítricos como ingrediente para la industria cárnica. *Agronomía Mesoamericana, 35*(1), e58857. https://doi.org/10.15517/am.2024.58857

Villamil-Galindo, E., & Piagentini, A. (2024). Green solvents for the recovery of phenolic compounds from strawberry (Fragaria x ananassa) and apple residues for functional flour production. *Food Chemistry, 435*, 137520. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137520

Wei, X., Zhang, Y., & Liu, J. (2023). Global expanding of agro-industrial by-products and eco-friendly valorization strategies: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production, 391*, 136150. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136150