Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA AGROINDUSTRIA BANANERA: UNA REVISIÓN DE ALCANCE CON IMPLICACIONES PARA EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA

CIRCULAR ECONOMY STRATEGIES FOR BANANA AGROINDUSTRY WASTE VALORIZATION: A SCOPING REVIEW WITH IMPLICATIONS FOR THE DEPARTMENT OF MAGDALENA, COLOMBIA

Antonio José Martínez Lengua
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

Valentina Yulieth Escobar De la Asunción
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

Wendy Lisney Angarita López
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

José Luis Lobo Díaz
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4.25775

Estrategias de economía circular para la valorización de residuos en la agroindustria bananera: una revisión de alcance con implicaciones para el departamento del Magdalena, Colombia

Antonio José Martínez Lengua[1]
antonio.martinezl@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0001-2047-097X
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

Valentina Yulieth Escobar De la Asunción
Valentina.escobar01@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0005-0364-0518
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

Wendy Lisney Angarita López
Wendy.angarita01@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0000-0517-274X
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

José Luis Lobo Díaz
jose.lobo@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0006-0656-6437
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta, Colombia

RESUMEN

La agroindustria bananera genera volúmenes considerables de residuos orgánicos —cáscaras, pseudotallos, raquis e inflorescencias— que en muchos contextos se desechan sin aprovechamiento, generando impactos ambientales negativos. La economía circular ofrece un marco conceptual y operativo para transformar estos subproductos en insumos de valor mediante bioenergía, biofertilizantes, biomateriales, biorremediación y productos alimenticios o farmacéuticos. El presente artículo constituye una revisión de alcance (scoping review) cuyo objetivo es mapear y sintetizar las estrategias de economía circular implementadas a nivel internacional para la valorización de residuos bananeros, e identificar alternativas aplicables al departamento del Magdalena, Colombia. Se analizaron 30 publicaciones científicas de 20 países, publicadas entre 2021 y 2026, recuperadas de las bases de datos Google Scholar y ScienceDirect, bajo criterios PRISMA-ScR 2020. Los resultados evidencian cinco grandes ejes de valorización: bioenergía (biogás, hidrochar, celdas de combustible microbiano), mejoramiento de suelos (compost, nanobiofertilizantes), biomateriales (fibras, bioplásticos, celulosa bacteriana, papel), biorremediación (adsorbentes de cromo y contaminantes emergentes) y compuestos bioactivos de alto valor. La producción de biogás por codigestión y el compostaje de cáscaras emergen como las alternativas con mayor madurez tecnológica. Se identifican vacíos críticos en viabilidad económica local, aprovechamiento del pseudotallo y análisis de ciclo de vida integrado para la agroindustria bananera magdalenense sostenible.

Palabras clave: economía circular; valorización de residuos; agroindustria bananera; bioenergía; Magdalena.

[1] Autor principal
Correspondencia: antonio.martinezl@usa.edu.co

Circular Economy Strategies for Banana Agroindustry Waste Valorization: A Scoping Review with Implications for the Department of Magdalena, Colombia

ABSTRACT

The banana agroindustry generates considerable volumes of organic waste—peels, pseudostems, rachises, and inflorescences—which in many contexts are discarded without being put to use, causing negative environmental impacts. The circular economy offers a conceptual and operational framework for transforming these byproducts into valuable inputs through bioenergy, biofertilizers, biomaterials, bioremediation, and food or pharmaceutical products. This article is a scoping review aimed at mapping and synthesizing the circular economy strategies implemented internationally for the valorization of banana waste, and identifying alternatives applicable to the department of Magdalena, Colombia. Thirty scientific publications from 20 countries, published between 2021 and 2026 and retrieved from the Google Scholar and ScienceDirect databases, were analyzed according to the PRISMA-ScR 2020 criteria. The results highlight five main areas of valorization: bioenergy (biogas, hydrochar, microbial fuel cells), soil improvement (compost, nanobiofertilizers), biomaterials (fibers, bioplastics, bacterial cellulose, paper), bioremediation (adsorbents for chromium and emerging contaminants), and high-value bioactive compounds. Biogas production via co-digestion and banana peel composting emerge as the alternatives with the greatest technological maturity. Critical gaps have been identified in local economic viability, pseudostem utilization, and integrated life-cycle analysis for a sustainable banana agroindustry in Magdalena.

Keywords: circular economy; waste valorization; banana agroindustry; bioenergy; Magdalena.

Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de banano alcanzó cerca de 139 millones de toneladas en 2023 y constituye el cuarto cultivo alimentario más importante del planeta, después del trigo, el arroz y el maíz (FAO, 2024). Este dinamismo productivo se sustenta en las condiciones tropicales de regiones como América Latina, África subsahariana y el Sudeste Asiático, donde el cultivo actúa simultáneamente como fuente de seguridad alimentaria, generador de empleo rural y motor de exportaciones. Sin embargo, el éxito comercial del banano conlleva un costo ambiental considerable: por cada tonelada de fruta exportable se generan entre tres y cinco toneladas de residuos orgánicos —cáscaras, pseudotallos, hojas, raquis y flores—, cuya gestión inadecuada representa un desafío ambiental y una oportunidad económica desaprovechada (Silva-Alvarado et al., 2023; Emmanuel et al., 2025).

En el plano internacional, la emergencia del paradigma de la economía circular ha transformado la manera en que la industria y la academia conciben los subproductos agrícolas. Frente al modelo lineal de "producir-consumir-desechar", la economía circular propone sistemas cerrados donde los residuos de una etapa productiva se convierten en insumos de la siguiente, prolongando el ciclo de vida de los materiales y reduciendo la huella ecológica (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Esta transición conceptual ha impulsado una ola de investigaciones que demuestran el potencial de los residuos bananeros para producir biogás (Atilgan et al., 2023; Khatun et al., 2023), biofertilizantes (Kitundu et al., 2025; Kumar et al., 2025), fibras biodegradables (Jayaprakash et al., 2022; Waraczewski & Sołowiej, 2024), materiales de construcción ecológicos (Baah et al., 2026) y adsorbentes para tratamiento de aguas (Boyle et al., 2025; Belibagli et al., 2025).

En el contexto latinoamericano, Ecuador concentra la mayor producción regional de banano y ha liderado estudios prospectivos sobre economía circular en la cadena bananera (Fiallos-Cárdenas et al., 2022; Silva-Alvarado et al., 2023). Investigaciones desarrolladas en ese país han identificado rutas viables para aprovechar el pseudotallo en la producción de bioplásticos y biofertilizantes, y han modelado escenarios de bioeconomía circular que integran múltiples flujos de residuos. Brasil, por su parte, ha avanzado en la caracterización de biomasa agrícola para generar productos de alto valor agregado (Dos Santos et al., 2024), mientras que Colombia, en años recientes, ha comenzado a explorar la celulosa bacteriana derivada del banano como material para empaques sostenibles (Martínez et al.,

2025). Sin embargo, la literatura latinoamericana sigue siendo escasa en comparación con los avances registrados en Asia y Europa, lo que evidencia una brecha significativa de conocimiento aplicado a las realidades agroindustriales de la región.

En el contexto nacional colombiano, el sector bananero constituye uno de los ejes exportadores más relevantes. Según la Asociación de Bananeros de Colombia (Augura), el país exportó en 2023 cerca de 100 millones de cajas de banano, con el departamento del Magdalena como segundo productor nacional después de Urabá. La zona bananera del Magdalena, con epicentro en municipios como Ciénaga, Fundación y Aracataca, ha sido históricamente uno de los enclaves productivos más importantes del Caribe colombiano. No obstante, la gestión de residuos en esta región presenta deficiencias estructurales: la mayoría de los subproductos generados durante el cultivo, la cosecha y la poscosecha son abandonados en campo o depositados sin tratamiento, lo que origina problemas de contaminación de fuentes hídricas, proliferación de vectores, emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y pérdida de oportunidades de valorización económica.

Desde el ámbito académico, la ausencia de revisiones sistemáticas o de alcance que mapeen específicamente las estrategias circulares aplicables al contexto del Magdalena constituye un vacío que este trabajo busca llenar. Aunque existen publicaciones dispersas sobre valorización de residuos bananeros en otros países, no se ha realizado hasta la fecha una síntesis crítica que articule los hallazgos internacionales con las necesidades y condiciones específicas de la agroindustria bananera magdalenense. Esta ausencia dificulta la toma de decisiones por parte de productores, gremios, entidades gubernamentales e instituciones educativas interesadas en implementar modelos circulares en la región.

La presente revisión de alcance se justifica, entonces, en tres dimensiones complementarias. Desde la perspectiva ambiental, mapear las estrategias de valorización disponibles permite identificar alternativas concretas para reducir la carga contaminante de los residuos bananeros en el Magdalena. Desde la perspectiva económica, la transformación de subproductos en bioproductos de valor representa una oportunidad de diversificación de ingresos para los productores y de fortalecimiento de la cadena de valor regional. Desde la perspectiva académica y formativa, este trabajo contribuye al desarrollo de competencias investigativas en ingeniería industrial orientadas hacia la sostenibilidad, la bioeconomía y la economía circular.

En consecuencia, el objetivo general de esta investigación es analizar las estrategias de economía circular implementadas a nivel internacional para la valorización de residuos en la agroindustria bananera, con el propósito de identificar alternativas sostenibles que puedan ser referenciadas para el departamento del Magdalena. Para alcanzar este propósito se plantean cuatro objetivos específicos: (1) identificar los tipos de residuos bananeros con mayor volumen y potencial de aprovechamiento; (2) clasificar y analizar las estrategias internacionales de valorización según su categoría tecnológica; (3) comparar los beneficios ambientales, económicos y sociales documentados en la literatura; y (4) proponer alternativas concretas de implementación para el contexto magdalenense. La pregunta de investigación que guía el estudio es: ¿qué estrategias de economía circular implementadas a nivel internacional pueden contribuir al aprovechamiento y valorización de residuos en la agroindustria bananera del departamento del Magdalena?

El artículo se organiza en cinco secciones principales: metodología, resultados, discusión, conclusiones y líneas futuras de investigación. La metodología describe el protocolo de búsqueda y selección de estudios bajo el marco PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews) 2020. Los resultados presentan una síntesis estructurada de los 30 artículos analizados, organizados por categorías de valorización, distribución geográfica y enfoque metodológico. La discusión realiza un análisis crítico comparativo de los hallazgos, identifica convergencias y contradicciones en la literatura, y evalúa la transferibilidad de las estrategias al contexto del Magdalena. Las conclusiones responden directamente a los objetivos planteados y las líneas futuras proponen una agenda investigativa concreta para la región.

METODOLOGÍA

La presente investigación adoptó el diseño de revisión de alcance (scoping review) según el marco propuesto por Arksey y O'Malley (2005) y actualizado por Levac et al. (2010), siguiendo las directrices de reporte PRISMA-ScR 2020 (Page et al., 2021). La revisión de alcance se privilegió sobre la revisión sistemática dado que el objetivo central no es evaluar la eficacia de una intervención específica, sino mapear la extensión, el rango y la naturaleza de la evidencia disponible sobre estrategias de economía circular aplicadas a residuos bananeros, identificar vacíos de conocimiento y clarificar conceptos clave (Munn et al., 2018). La pregunta de investigación que orienta la búsqueda es la enunciada en la

Introducción: ¿qué estrategias de economía circular implementadas a nivel internacional pueden contribuir al aprovechamiento y valorización de residuos en la agroindustria bananera del departamento del Magdalena?

2.1 Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó en dos bases de datos científicas de acceso internacional: Google Scholar y ScienceDirect. Los términos de búsqueda utilizados, combinados con operadores booleanos (AND, OR), incluyeron: "banana waste valorization", "circular economy banana agroindustry", "banana peel compost", "banana residues bioenergy", "banana pseudostem fiber", "economía circular agroindustria bananera", "valorización residuos banano", y términos relacionados con bioplásticos, biofertilizantes y biorremediación derivados de banano. La búsqueda se ejecutó durante el primer semestre de 2026 [INDICAR FECHA EXACTA DE INICIO Y CIERRE DE LA BÚSQUEDA]. Los términos se combinaron de forma independiente en cada base de datos; [INCORPORAR LA ECUACIÓN DE BÚSQUEDA BOOLEANA COMPLETA Y REPRODUCIBLE UTILIZADA EN CADA BASE DE DATOS, p. ej.: ("banana waste valorization" OR "circular economy banana agroindustry") AND ("bioenergy" OR "biofertilizer" OR "biomaterial" OR "bioremediation")].

2.2 Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión aplicados fueron los siguientes:

• Artículos publicados en revistas científicas arbitradas entre 2021 y 2026.

• Estudios con foco explícito en valorización de residuos bananeros bajo principios de economía circular, bioeconomía o sostenibilidad.

• Publicaciones en idioma español o inglés.

• Disponibilidad del texto completo o de un resumen suficientemente informativo.

• Estudios experimentales, revisiones de literatura, estudios de caso y estudios prospectivos.

Los criterios de exclusión aplicados fueron:

• Artículos publicados antes de 2021.

• Estudios enfocados exclusivamente en producción de banano sin abordar la valorización de residuos.

• Literatura gris (informes técnicos, tesis, documentos gubernamentales) sin revisión por pares.

• Documentos sin disponibilidad de resumen o sin información metodológica identificable.

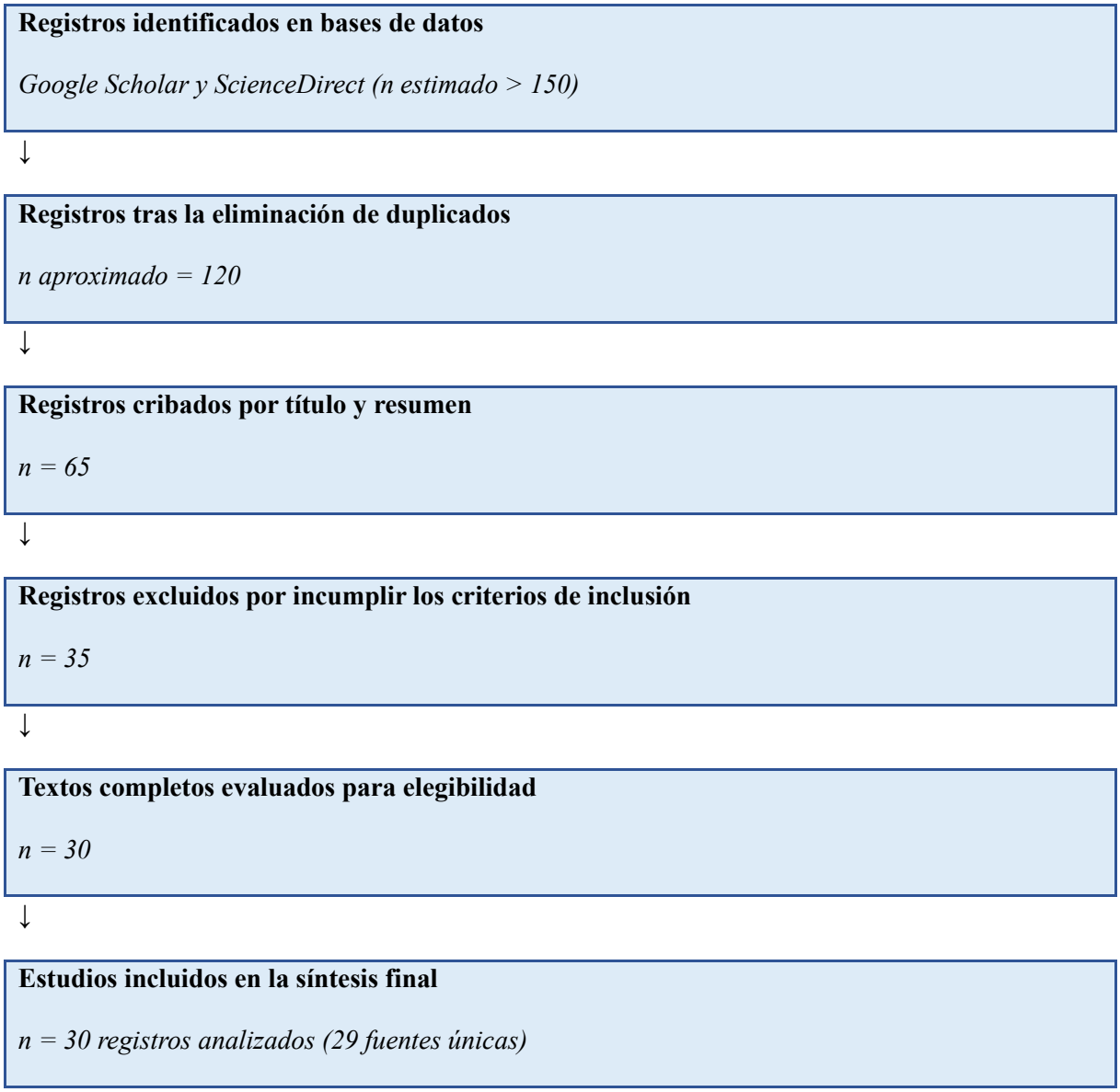
• Artículos duplicados (se conservó la versión más completa).

2.3 Proceso de selección

El proceso de selección se organizó en tres fases consecutivas. En la fase heurística se realizó la búsqueda inicial en las bases de datos identificadas, obteniendo un conjunto preliminar de registros. En la fase organizacional se diseñó una matriz bibliográfica estructurada con los campos título, autores, año, país, metodología, principales resultados y aporte al proyecto; esta herramienta permitió sistematizar la información y facilitar la identificación de tendencias, enfoques y hallazgos relevantes. En la fase analítica se realizó la revisión de texto completo de los artículos preseleccionados, aplicando los criterios de inclusión y exclusión para determinar la muestra final de estudios. [INDICAR SI EL CRIBADO POR TÍTULO/RESUMEN Y LA EVALUACIÓN DE TEXTO COMPLETO FUERON REALIZADOS DE FORMA INDEPENDIENTE POR DOS REVISORAS Y, DE SER ASÍ, DESCRIBIR CÓMO SE RESOLVIERON LAS DISCREPANCIAS ENTRE EVALUADORAS (p. ej., discusión por consenso o arbitraje de una tercera persona)]. Durante este proceso se identificó y eliminó un artículo duplicado (Espinach et al., 2024, artículos 9 y 28 de la matriz original; se conservó la versión con autoría más completa), resultando en 29 estudios únicos para el análisis. Dado que el artículo duplicado aporta información relevante en ambas versiones, las dos entradas se citan de manera unificada como Espinach et al. (2024).

La Figura 1 (diagrama de flujo PRISMA-ScR) resume el proceso de selección descrito en esta sección, con base en las cifras reportadas en el protocolo de búsqueda: registros identificados en bases de datos (n estimado > 150); registros tras la eliminación de duplicados (n ≈ 120); registros cribados por título y resumen (n = 65); registros excluidos por incumplir los criterios (n = 35); textos completos evaluados para elegibilidad (n = 30); estudios incluidos en la síntesis final (n = 30 registros analizados, equivalentes a 29 fuentes únicas tras unificar el artículo duplicado). Las cifras de las dos primeras etapas se reportan como aproximadas ('> 150' y '≈ 120') porque el proceso de búsqueda inicial no dejó un registro exacto exportable; [COMPLETAR CON LAS CIFRAS EXACTAS DE LA MATRIZ PRISMA ORIGINAL, SI SE DISPONE DE ELLAS, PARA REEMPLAZAR LAS APROXIMACIONES '> 150' Y '≈ 120'].

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA-ScR del proceso de selección de estudios



Fuente: elaboración propia con base en las directrices PRISMA-ScR 2020 (Page et al., 2021) y en las cifras reportadas en la sección 2.3. Las dos primeras etapas son aproximadas (ver nota en el texto); el resto de las cifras corresponde a conteos exactos del proceso de cribado.

2.4 Análisis de la información

El análisis de la información se realizó mediante codificación temática inductiva (Braun & Clarke, 2006). Cada artículo fue clasificado según: (a) el tipo de residuo bananero estudiado, (b) la categoría tecnológica de valorización, (c) el enfoque metodológico, (d) el contexto geográfico, (e) los beneficios documentados, y (f) las limitaciones reportadas. La síntesis de resultados se estructuró en tablas

comparativas y narrativa integradora, siguiendo el enfoque de síntesis de evidencia mixta recomendado para revisiones de alcance (Lockwood et al., 2015).

2.5 Consideraciones éticas

Esta revisión de alcance analizó exclusivamente fuentes secundarias de acceso público —artículos científicos ya publicados—; no involucró seres humanos, animales, ni la recolección de datos personales o sensibles, por lo que no requirió aprobación ni exención de un comité de ética institucional. El tratamiento de la información se ajustó a los principios de honestidad e integridad académica, evitando la alteración, omisión selectiva o tergiversación de los hallazgos originales de los estudios incluidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

3.1 Caracterización del corpus documental

La revisión incluyó 30 publicaciones científicas (29 fuentes únicas) distribuidas en el período 2021-2026. La distribución temporal muestra un crecimiento sostenido: 1 artículo en 2021, 6 en 2022, 4 en 2023, 5 en 2024, 11 en 2025 y 4 en 2026 (estos últimos corresponden a artículos de publicación anticipada, "ahead of print"). Este incremento del 275 % entre 2021 y 2025 refleja la creciente atención científica internacional hacia la valorización de residuos bananeros en el marco de la transición circular.

Tabla 1. Caracterización documental del corpus de revisión (n = 30 estudios)

N°	Autores (año)	País	Metodología	Tipo de residuo	Categoría de valorización
1	Silva-Alvarado et al. (2023)	Ecuador	Estudio prospectivo	Múltiple	Multi-categoría
2	Emmanuel et al. (2025)	Tanzania	Revisión documental	Múltiple	Multi-categoría
3	Waraczewski & Sołowiej (2024)	Polonia	Revisión de literatura	Múltiple	Multi-categoría

4	Atilgan et al. (2023)	Turquía	Estudio de caso	Planta completa	Bioenergía
5	Kitundu et al. (2025)	Tanzania	Experimental	Cáscara	Biofertilizante
6	Islam et al. (2021)	Malasia	Experimental	Pseudotallo	Compost
7	Putra et al. (2022)	Malasia	Revisión de literatura	Cáscara	Compuestos bioactivos
8	Jayaprakash et al. (2022)	India/Canadá	Revisión de literatura	Biomasa general	Fibras/Biomateriales
9/28	Espinach et al. (2024)	España	Experimental	Raquis	Biocompuestos
10	Dos Santos et al. (2024)	Brasil	Estudio prospectivo	Biomasa general	Alto valor agregado
11	Kumar et al. (2025)	India	Experimental	Cáscara	Nano-biofertilizante
12	Gusmawartati et al. (2025)	Indonesia	Experimental	Cáscara	Compost
13	Dewilda et al. (2024)	Indonesia	Experimental	Cáscara	Compost
14	Boyle et al. (2025)	R. Unido	Experimental	Cáscara	Biorremediación
15	Thagunna et al. (2023)	Nepal	Revisión de literatura	Flor	Alimento/Salud
16	Fiallos-Cárdenas et al. (2022)	Ecuador	Revisión bibliográfica	Múltiple	Multi-categoría

17	Pambudi et al. (2025)	Indonesia	Experimental	Cáscara	Bioenergía (hidrochar)
18	Chandra et al. (2026)	Global	Experimental	Cáscara	Bioenergía (MFC)
19	Baah et al. (2026)	EE. UU.	Investigación aplicada	Cáscara	Materiales de construcción
20	Kumari et al. (2025)	Indonesia	Revisión sistemática	Múltiple	Bioplásticos/Biofilm
21	Belibagli et al. (2025)	Turquía	Experimental	Fibra	Biorremediación
22	Abro et al. (2026)	Pakistán/Arabia Saudita	Experimental	Pseudotallo	Papel/Celulosa
23	Teshome (2022)	Etiopía	Experimental	Cáscara	Compost agrícola
24	Hitlamani et al. (2026)	Francia	Revisión científica	Cáscara/Plátano	Compuestos bioactivos
25	Pongsuwan et al. (2022)	Tailandia	Experimental	Inflorescencia	Bioplástico
26	Cabrera et al. (2023)	Ecuador	Experimental	Raquis	Biocompuestos
27	Khatun et al. (2023)	Bangladesh	Experimental	Residuo general	Bioenergía (biogás)
28	(ver 9)	España	Experimental	Raquis	Biocompuestos
29	Thakkar et al. (2025)	India	Investigación biotecnológica	Cáscara	Extracción sostenible
30	Martínez et al. (2025)	Colombia	Experimental	Residuo general	Celulosa bacteriana

Nota: las filas 9 y 28 corresponden al mismo estudio (Espinach et al., 2024), incluido dos veces en la matriz de cribado por duplicación documental (posiblemente por haberse indexado en dos búsquedas distintas). Se cuenta una sola vez en los totales, porcentajes y en la distribución geográfica reportados en esta sección (29 fuentes únicas sobre 30 registros analizados); se conservan ambas filas en la tabla por trazabilidad del proceso de cribado documentado en la sección 2.3.

3.2 Distribución geográfica y temporal

Los 30 estudios están asociados a 20 países únicos (criterio de conteo: país de estudio o contexto de caso registrado en la Tabla 1 para cada uno de los 29 estudios únicos, contando ambos componentes de los dos estudios con país dual —India/Canadá, fila 8; Pakistán/Arabia Saudita, fila 22— y excluyendo del conteo de países el estudio de alcance global de Chandra et al., 2026, fila 18, que sí se cuenta entre los 30 registros analizados). Asia concentra el mayor número de publicaciones con 12 artículos (40,0 %), distribuidos entre Indonesia (4), India (3), Malasia (2), Tailandia (1), Bangladesh (1) y Nepal (1). Europa aporta 6 artículos (20,0 %), con representación de España (2), Polonia (1), Turquía (2) y Reino Unido (1). América Latina y el Caribe contribuye con 5 publicaciones (16,7 %), provenientes de Ecuador (3), Brasil (1) y Colombia (1). África aparece con 3 estudios (10,0 %): 2 de Tanzania y 1 de Etiopía. América del Norte (Estados Unidos) y la región de Oriente Medio/Asia Meridional (Arabia Saudita/Pakistán) aportan 1 estudio cada uno. Un estudio tiene enfoque global (Chandra et al., 2026) y uno tiene origen dual India/Canadá. Esta distribución confirma que la investigación sobre valorización de residuos bananeros es un fenómeno global con particular dinamismo en el sudeste asiático, lo que contrasta con la representación latinoamericana, aún insuficiente dada la magnitud productiva de la región.

Tabla 2. Distribución de estudios por categoría de valorización

Categoría de valorización	**N° estudios**	**% del total**	**Artículos representativos**
Bioenergía (biogás, hidrochar, MFC)	5	16.7%	Atilgan (2023); Khatun (2023); Pambudi (2025); Chandra (2026)
Mejoramiento de suelos (compost, biofertilizantes, nano)	6	20.0%	Kitundu (2025); Islam (2021); Kumar (2025); Teshome (2022)
Biomateriales (fibras, biocompuestos, bioplásticos)	7	23.3%	Espinach (2024); Pongsuwan (2022); Kumari (2025); Cabrera (2023)
Celulosa, papel y materiales de construcción	3	10.0%	Abro (2026); Baah (2026); Martínez (2025)
Biorremediación y tratamiento de aguas	2	6.7%	Boyle (2025); Belibagli (2025)
Compuestos bioactivos y aplicaciones alimentarias	3	10.0%	Putra (2022); Thagunna (2023); Hitlamani (2026)
Multi-categoría / Prospectiva / Revisiones integrales	4	13.3%	Silva-Alvarado (2023); Emmanuel (2025); Fiallos-Cárdenas (2022); Dos Santos (2024)

Nota: MFC = celdas de combustible microbiano (microbial fuel cells, por sus siglas en inglés). Suma verificada: 5+6+7+3+2+3+4 = 30 estudios; 16,7+20,0+23,3+10,0+6,7+10,0+13,3 = 100,0 %.

3.3 Bioenergía a partir de residuos bananeros

La producción de bioenergía representa una de las rutas más estudiadas y con mayor impacto potencial. Atilgan et al. (2023), en un estudio de caso en la región mediterránea de Turquía, demostraron que los residuos de la producción bananera pueden someterse a digestión anaerobia para producir biogás, con capacidad para cubrir necesidades energéticas domésticas y agrícolas. El análisis reportó eficiencias de conversión significativas y costos de operación competitivos respecto a las fuentes convencionales. En una dirección similar, Khatun et al. (2023) evaluaron la codigestión de desechos avícolas y residuos bananeros en Bangladesh, encontrando que la mezcla potencia la producción de biogás en comparación con la digestión individual de cada sustrato, gracias a la complementariedad en la relación carbono/nitrógeno.

Pambudi et al. (2025) introdujeron el procesamiento hidrotérmico (hydrochar) como alternativa innovadora para tratar cáscaras de banano en Indonesia. Este tratamiento mejora las propiedades energéticas del material resultante —incrementando su poder calorífico y reduciendo el contenido de humedad—, lo que lo posiciona como combustible sólido renovable con aplicaciones potenciales en secado de cosechas y cogeneración. El estudio de Chandra et al. (2026), de enfoque global, incorporó la fermentación oscura acoplada con celdas de combustible microbiano (MFC) utilizando cáscaras de banano, obteniendo producción simultánea de hidrógeno y electricidad, con un análisis de ciclo de vida que confirmó su viabilidad ambiental. Estos hallazgos abren perspectivas novedosas para la conversión energética descentralizada en zonas productoras.

3.4 Mejoramiento de suelos: compostaje y biofertilizantes

El compostaje de residuos bananeros emerge como la estrategia con mayor accesibilidad tecnológica y menor barrera de implementación. Islam et al. (2021) demostraron en Malasia que el pseudotallo del banano, combinado con otros sustratos orgánicos, produce compost con altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio, superando en algunos parámetros a los fertilizantes químicos convencionales. Teshome (2022) documentó en Etiopía que la aplicación de compost elaborado a partir de cáscaras de banano mejoró significativamente el crecimiento y rendimiento de acelga suiza, validando su eficacia bajo condiciones de campo en contextos de agricultura familiar.

Kitundu et al. (2025) avanzaron en la producción de biofertilizantes ricos en potasio mediante compostaje de cáscaras de banano y cortezas de sandía en Tanzania, demostrando sinergia entre residuos de diferentes cultivos. Gusmawartati et al. (2025) y Dewilda et al. (2024) estudiaron en Indonesia la inoculación de consorcios bacterianos celulolíticos como bioaceleradores del compostaje, obteniendo reducciones del tiempo de maduración y mejoras en la calidad del producto final. Kumar et al. (2025) llevaron la valorización agrícola al nivel nanotecnológico, convirtiendo cáscaras de banano en nano-biofertilizantes de sílice mesoporosa con aplicaciones de liberación controlada, lo que representa la frontera tecnológica más avanzada en este eje.

3.5 Biomateriales: fibras, biocompuestos y bioplásticos

Los biomateriales derivados de residuos bananeros constituyen el eje con mayor diversidad de aplicaciones documentadas. Espinach et al. (2024) desarrollaron en España biocompuestos a partir de fibras extraídas del raquis bananero mezcladas con plásticos reciclados de tapas de botellas, demostrando que la incorporación de fibras naturales reduce el impacto ambiental del plástico sin comprometer sus propiedades mecánicas. Este trabajo aplica explícitamente los principios de economía circular al integrar dos flujos de residuos distintos en un único material sostenible.

Pongsuwan et al. (2022), en Tailandia, utilizaron fibras de la inflorescencia del banano como refuerzo en bioplásticos a base de almidón, mejorando la resistencia mecánica y la biodegradabilidad del material resultante. Kumari et al. (2025), en una revisión sistemática, sintetizaron el estado del arte de los biofilms biodegradables elaborados a partir de residuos bananeros, identificando su potencial para reemplazar empaques plásticos convencionales con propiedades comparables. Cabrera et al. (2023) caracterizaron en Ecuador compuestos de polietileno de alta densidad reciclado (HDPE, por sus siglas en inglés) reforzados con fibras de raquis bananero, confirmando la reducción del impacto ambiental y propiedades físico-mecánicas y térmicas adecuadas para aplicaciones industriales. Jayaprakash et al. (2022) y Waraczewski & Sołowiej (2024) proporcionaron revisiones comprehensivas sobre el uso de biomasa residual agrícola —incluyendo la bananera— para producir fibras biodegradables, bioplásticos y bioetanol, consolidando el sustento conceptual para iniciativas de biofibra en contextos productivos del sur global.

3.6 Celulosa bacteriana, papel y materiales de construcción

Martínez et al. (2025), en el único estudio colombiano identificado en la revisión, demostraron que residuos de banano de la especie Musa paradisiaca pueden emplearse como sustrato para la producción de celulosa bacteriana mediante fermentación, obteniendo un material apto para la fabricación de cartón sostenible. Este resultado es de particular relevancia para el contexto nacional, pues sugiere una ruta de valorización adaptable a condiciones agroindustriales colombianas. Abro et al. (2026) reportaron resultados similares en Pakistán/Arabia Saudita, utilizando la pulpa del pseudotallo para fabricar papel y tejidos biodegradables con parámetros de calidad comparables a los papeles convencionales. Baah et al. (2026) exploraron en Estados Unidos el polvo de cáscara de banano como material cementoso suplementario en la educación en ingeniería, evidenciando su potencial como árido ecológico en la industria de la construcción sostenible.

3.7 Biorremediación y tratamiento de aguas

Dos estudios reportaron el uso de materiales derivados de banano para la remoción de contaminantes en efluentes líquidos. Boyle et al. (2025) fabricaron en el Reino Unido esferas adsorbentes a partir de cáscaras de banano, demostrando alta eficiencia en la remoción de contaminantes emergentes del agua. Belibagli et al. (2025) desarrollaron en Turquía un catalizador magnético a base de fibra de banano para la reducción eficiente de cromo hexavalente Cr(VI), un contaminante altamente tóxico en efluentes industriales. Ambos estudios destacan la rentabilidad del proceso frente a adsorbentes comerciales y confirman que los residuos bananeros pueden contribuir a la industria del tratamiento de aguas como alternativa de bajo costo y origen renovable.

3.8 Compuestos bioactivos y aplicaciones alimentarias/farmacéuticas

Putra et al. (2022), en una revisión de procesos de extracción, documentaron que la cáscara de banano contiene polifenoles, flavonoides, taninos, pectina y almidón resistente con aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Thagunna et al. (2023) describieron el valor nutricional y las propiedades funcionales de la flor del banano, un subproducto frecuentemente ignorado con alto contenido de fibra dietética, antioxidantes y minerales. Hitlamani et al. (2026), en una revisión comprehensiva, sintetizaron los avances en extracción de compuestos bioactivos de cáscaras de plátano (Musa spp.), identificando su potencial para bioenergía, bioplásticos y suplementos nutricionales.

Thakkar et al. (2025) ampliaron el espectro al incluir semillas de aguacate y cáscaras de banano en procesos conjuntos de extracción sostenible de biomoléculas de valor biotecnológico.

3.9 Tabla comparativa de beneficios documentados

Tabla 3. Comparativa de beneficios por categoría de valorización

Categoría	**Beneficio ambiental**	**Beneficio económico**	**Beneficio social**	**Madurez tecnológica**
Bioenergía	Reduce CH_4 sin tratar; GEI neutros	Energía para autoconsumo agrícola	Autonomía energética rural	Media-Alta
Compost/Biofertilizante	Reduce residuos; mejora suelos	Ahorra fertilizantes químicos	Agricultura sostenible familiar	Alta
Fibras/Biocompuestos	Sustituye plásticos fósiles	Nuevo producto exportable	Empleo artesanal e industrial	Media
Bioplásticos/Biofilm	Reduce plásticos de un solo uso	Mercado de empaques sostenibles	Conciencia ambiental	Media-Baja
Biorremediación	Descontamina fuentes hídricas	Adsorbentes de bajo costo	Salud pública y agua limpia	Media
Compuestos bioactivos	Aprovecha la fracción no alimentaria	Altos márgenes nutracéutica	Nutrición y bienestar	Baja-Media
Celulosa/Papel/Construcción	Materiales sin deforestar	Insumos para la industria	Infraestructura sostenible	Baja

Discusión

4.1 Convergencias y divergencias en la literatura

El análisis transversal de los 30 estudios revela convergencias sólidas en torno a tres premisas fundamentales: (1) los residuos bananeros poseen una composición físico-química rica en celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón, potasio, pectinas y compuestos fenólicos que los hace técnicamente aprovechables en múltiples categorías de valorización (Putra et al., 2022; Emmanuel et al., 2025; Hitlamani et al., 2026); (2) ningún componente residual del banano es completamente inútil, siendo la cáscara el subproducto más estudiado (63 % de los artículos) y el pseudotallo el más subutilizado a pesar de su alta productividad de biomasa; y (3) las estrategias de economía circular aplicadas al banano generan beneficios triple-hélice (ambientales, económicos y sociales) con mayor consistencia que las estrategias lineales de disposición final (Silva-Alvarado et al., 2023; Fiallos-Cárdenas et al., 2022; Dos Santos et al., 2024).

Sin embargo, la literatura presenta divergencias metodológicas importantes. Los estudios experimentales (57 % del corpus) tienden a reportar resultados bajo condiciones controladas de laboratorio que no siempre son transferibles a escala industrial o agrícola. Tanto Kumar et al. (2025) —con nano-biofertilizantes— como Chandra et al. (2026) —con celdas de combustible microbiano— presentan hallazgos prometedores a escala de laboratorio sin validación piloto. Esto contrasta con los estudios prospectivos de Silva-Alvarado et al. (2023) y Fiallos-Cárdenas et al. (2022), que trabajan con modelos a escala de cadena de valor pero no profundizan en parámetros técnicos específicos. Esta brecha escalar —entre lo laboratorial y lo industrial— es una limitación estructural que la literatura actual no ha resuelto satisfactoriamente.

4.2 Fortalezas y debilidades metodológicas del corpus

Las fortalezas metodológicas del corpus se concentran en los estudios experimentales que incluyen caracterización fisicoquímica rigurosa del material (Islam et al., 2021; Espinach et al., 2024; Belibagli et al., 2025), análisis comparativos con controles adecuados (Kitundu et al., 2025; Teshome, 2022) y análisis de ciclo de vida (Chandra et al., 2026). La revisión sistemática de Kumari et al. (2025) aporta rigor en la síntesis de evidencia sobre bioplásticos, mientras que las revisiones de alcance de

Waraczewski & Sołowiej (2024) y Jayaprakash et al. (2022) ofrecen panoramas comprehensivos con amplia cobertura geográfica.

Las debilidades metodológicas identificadas incluyen: (a) ausencia generalizada de análisis económicos de viabilidad —solo dos estudios (Dos Santos et al., 2024; Atilgan et al., 2023) mencionan dimensiones económicas de manera cuantitativa—; (b) falta de estudios de escalamiento que conecten resultados de laboratorio con implementación industrial; (c) escasa inclusión de indicadores sociales más allá de la generación de empleo genérica; (d) limitada atención a la variabilidad estacional y varietal de los residuos, que afecta su composición y rendimiento de valorización; y (e) ausencia de marcos de gobernanza o política pública que faciliten la adopción de las estrategias identificadas, especialmente en países de ingreso medio-bajo como Colombia.

4.3 Análisis crítico de transferibilidad al contexto del Magdalena

La evaluación de transferibilidad de las estrategias identificadas al departamento del Magdalena requiere considerar factores estructurales del contexto regional: disponibilidad de residuos, capacidad tecnológica instalada, condiciones climáticas, acceso a mercados y marcos normativos. El Magdalena produce anualmente millones de cajas de banano, generando un flujo continuo de residuos que constituye la materia prima necesaria para cualquier estrategia circular.

El compostaje y los biofertilizantes emergen como las alternativas de mayor transferibilidad inmediata: las tecnologías son simples, probadas a escala de campo (Teshome, 2022; Kitundu et al., 2025), no requieren inversión intensiva de capital y se alinean con las necesidades de los productores locales, quienes destinan un porcentaje significativo de sus costos a fertilizantes químicos. La experiencia de Islam et al. (2021) en Malasia y de Dewilda et al. (2024) en Indonesia demuestra que el compostaje acelerado con microorganismos puede implementarse a nivel de finca con capacitación básica.

La producción de biogás por codigestión (Khatun et al., 2023) presenta transferibilidad media: requiere infraestructura de biodigestores que implica inversión moderada, pero el Magdalena cuenta con antecedentes de implementación de biodigestores en ganadería que podrían adaptarse al sector bananero. La posibilidad de combinar residuos bananeros con estiércol bovino —actividad ganadera también prevalente en la región— mejoraría la eficiencia del proceso, tal como lo sugieren los resultados de Khatun et al. (2023) con cosustratos avícolas.

Las estrategias de mayor sofisticación tecnológica —nano-biofertilizantes (Kumar et al., 2025), celdas de combustible microbiano (Chandra et al., 2026), adsorbentes mesoporosos (Boyle et al., 2025)— presentan transferibilidad baja en el corto plazo dado que requieren capacidades tecnológicas e infraestructura de investigación y desarrollo (I+D) que aún no están disponibles en la región. Sin embargo, representan horizontes de innovación que universidades como la Sergio Arboleda y el Sena podrían explorar en alianza con el sector productivo a mediano plazo.

El estudio de Martínez et al. (2025) en Colombia es de especial relevancia: demuestra que, en contextos colombianos, los residuos de Musa paradisiaca pueden transformarse en celulosa bacteriana de calidad para empaques. Aunque el estudio no se ubica específicamente en el Magdalena, su pertinencia geográfica y varietal es directa. Este hallazgo sugiere que la celulosa bacteriana podría constituir una línea de investigación aplicada estratégica para la región, con posibilidades de vinculación con la industria del empaque.

En síntesis, la transferibilidad de las estrategias identificadas al Magdalena no es uniforme: existe una brecha clara entre tecnologías maduras y de bajo costo (compostaje, biofertilizantes), tecnologías de maduración intermedia que requieren inversión moderada en infraestructura (biogás por codigestión) y tecnologías emergentes que aún dependen de capacidades de I+D no disponibles regionalmente (nano-biofertilizantes, celdas de combustible microbiano). Las principales barreras para el escalamiento no son únicamente técnicas, sino también económicas —ausencia de estudios de viabilidad financiera local—, logísticas —recolección y transporte de residuos dispersos entre pequeños productores— y regulatorias —falta de incentivos o normativa habilitante para la economía circular agroindustrial en Colombia—.

4.4 Vacíos de investigación identificados

La síntesis crítica del corpus permitió identificar cinco vacíos de investigación significativos:

• Ausencia de análisis integrados de ciclo de vida (ACV) para la cadena bananera colombiana. Ningún estudio realiza un ACV específico para las condiciones de producción, transporte y disposición de residuos en el Caribe colombiano.

• Escasez de estudios de viabilidad económica y financiera que proyecten la rentabilidad de las estrategias circulares bajo condiciones de mercado latinoamericano.

• Subutilización del pseudotallo en la literatura latinoamericana. A pesar de ser el subproducto de mayor biomasa, los estudios sobre pseudotallo se concentran en Asia (Indonesia, Pakistán) con escasa presencia en América Latina.

• Ausencia de marcos de política pública y gobernanza circular específicos para la agroindustria bananera colombiana que faciliten la adopción empresarial de las estrategias identificadas.

• Falta de estudios participativos con pequeños y medianos productores bananeros que evalúen la adopción real de tecnologías circulares considerando factores socioculturales, económicos y logísticos locales.

Tabla 4. Vacíos de investigación identificados y su relevancia para el Magdalena

Vacío identificado	**Impacto para el Magdalena**	**Urgencia**
ACV integrado para la cadena bananera colombiana	No permite cuantificar la reducción real de GEI	Alta
Estudios de viabilidad económica locales	Impide decisiones de inversión fundamentadas	Alta
Valorización del pseudotallo en América Latina	Desaprovecha la mayor fracción de biomasa	Media
Marco de gobernanza circular regional	Ausencia de incentivos y regulación habilitante	Alta
Investigación participativa con productores	Las tecnologías propuestas pueden no ser adoptadas	Media
Escalamiento tecnológico de laboratorio a campo	Brecha entre resultados promisorios y aplicación real	Alta

CONCLUSIONES

1. La literatura científica publicada entre 2021 y 2026 confirma de manera robusta que los residuos de la agroindustria bananera —cáscaras, pseudotallos, raquis, inflorescencias y hojas— poseen potencial técnico comprobado para ser transformados en bioproductos de valor mediante estrategias de economía

circular, en al menos cinco grandes categorías: bioenergía, mejoramiento de suelos, biomateriales, biorremediación y compuestos bioactivos.

2. El compostaje de cáscaras de banano y la producción de biofertilizantes emergen como las estrategias con mayor madurez tecnológica, accesibilidad de implementación y evidencia experimental sólida, lo que las convierte en las alternativas con mayor potencial de transferencia inmediata al departamento del Magdalena, Colombia.

3. La producción de biogás por codigestión de residuos bananeros con otros sustratos orgánicos representa una ruta energética viable para la agroindustria bananera del Magdalena, especialmente si se integra con las actividades ganaderas coexistentes en la región, replicando el modelo demostrado por Khatun et al. (2023) en Bangladesh.

4. Los biomateriales —fibras, biocompuestos y bioplásticos— constituyen el eje con mayor diversidad de aplicaciones documentadas y mayor potencial de generación de valor agregado. Sin embargo, requieren mayor inversión en escalamiento tecnológico antes de ser aplicables en contextos agroindustriales de economías emergentes como la del Magdalena.

5. Se identificaron cinco vacíos críticos en la literatura: ausencia de análisis de ciclo de vida integrados para Colombia, escasez de estudios de viabilidad económica local, subutilización investigativa del pseudotallo en América Latina, inexistencia de marcos de gobernanza circular regionales y falta de investigación participativa con productores locales.

6. La distribución geográfica de los estudios revela una asimetría preocupante: el 40 % de la producción científica en este campo proviene de Asia, mientras América Latina —que concentra la mayor parte de la producción mundial de banano— aporta apenas el 16,7 %, con Colombia representada por un único estudio en el corpus analizado.

7. El único estudio colombiano identificado (Martínez et al., 2025) demuestra que la celulosa bacteriana derivada del banano es una línea de investigación aplicada relevante y apropiada para el contexto nacional, con potencial conexión a la industria de empaques sostenibles que está en expansión en el país.

8. La presente revisión de alcance valida metodológicamente la utilidad del enfoque PRISMA-ScR para mapear evidencia en campos emergentes como la bioeconomía circular bananera, y proporciona una base documental estructurada para investigaciones futuras de mayor profundidad en el contexto

magdalenense y colombiano. Como principal limitación de esta revisión, el corpus se restringió a dos bases de datos (Google Scholar y ScienceDirect) y a los idiomas español e inglés, por lo que estudios relevantes indexados exclusivamente en otras bases o publicados en otros idiomas pudieron no haber sido capturados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abro, S. I., Alosaimi, A. A., Alotaibi, M. O., Umar, A., Khan, B., Alzahrani, K. K., Gurbanova, L., & Gancarz, M. (2026). Valorization strategy for biodegradable products of tissues and paper sheets made from banana pseudostem pulp. Biomass and Bioenergy, 207, Article 108707. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108707

Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. International Journal of Social Research Methodology, 8(1), 19-32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616

Atilgan, A., Krakowiak-Bal, A., Ertop, H., Saltuk, B., & Malinowski, M. (2023). The Energy Potential of Waste from Banana Production: A Case Study of the Mediterranean Region. Energies, 16(14), Article 5244. https://doi.org/10.3390/en16145244

Baah, T. T., Balkan, M., Carruthers, K., Jung, S. E., & Kim, H.-J. (2026). Integrating waste valorization into engineering education: Experiential learning with powdered banana peel as a sustainable cementitious materials. Next Materials, 10, Article 101552. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.101552

Belibagli, P., Isik, Z., Yabalak, E., & Dizge, N. (2025). Magnetic banana fiber catalyst for efficient Cr(VI) reduction: a sustainable approach to waste valorization and water treatment. Journal of Water Process Engineering, 75, Article 107886. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107886

Boyle, O., Xiao, B., & Mangwandi, C. (2025). Valorization of Banana Peel Waste into Advanced Adsorbent Beads for the Removal of Emerging Pollutants from Wastewater. Materials, 18(5), Article 1084. https://doi.org/10.3390/ma18051084

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Cabrera, D., Baykara, H., Riofrio, A., Cornejo, M., & Cáceres, J. (2023). Preparation, characterization, and life cycle assessment of banana rachis-recycled high-density polyethylene composites. Scientific Reports, 13, Article 16534. https://doi.org/10.1038/s41598-023-42613-0

Chandra, S., Devianto, L. A., Pandit, S., Jadhav, D. A., & Thapa, B. S. (2026). Valorization of banana peel waste through coupled dark fermentation and microbial fuel cells: bioenergy production and life cycle assessment. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 86, Article 104826. https://doi.org/10.1016/j.seta.2026.104826

Dewilda, Y., Aziz, R., & Zahra, S. (2024). Utilization of banana and cassava peel as local microorganism materials in household organic waste composting by takakura method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1306(1), Article 012039. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1306/1/012039

Dos Santos, F. K. F., Barcellos-Silva, I. G. C., Leite-Barbosa, O., Ribeiro, R., Cunha-Silva, Y., & Veiga-Junior, V. F. (2024). High added-value by-products from biomass: A case study unveiling opportunities for strengthening the agroindustry value chain. Biomass, 4(2), 217-242, Article 11. https://doi.org/10.3390/biomass4020011

Ellen MacArthur Foundation. (2021). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. EMF Publications.

Emmanuel, J. K., Mtashobya, L. A., & Mgeni, S. T. (2025). Potential contributions of banana fruits and residues to multiple applications: An overview. Natural Product Communications, 20(2), Article 1934578X251320151. https://doi.org/10.1177/1934578X251320151

Espinach, F. X., Monzon, M., Paz, R., Ortega, R., Fullana, P., Bala, A., Campos, C., Delgado-Aguilar, M., & Tarrés, Q. (2024). Composites made of a blend of plastics recovered from bottle caps reinforced with fibers from banana rachis waste. A circular economy strategy in the Canary Islands. Journal of Cleaner Production, 483, Article 144244. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144244

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2024). Agricultural production statistics 2010-2023 (FAOSTAT Analytical Brief No. 96). https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3755en

Fiallos-Cárdenas, M., Pérez-Martínez, S., & Ramírez, Á. D. (2022). Prospectives for the development of a circular bioeconomy around the banana value chain. Sustainable Production and Consumption, 30, 541-555. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.014

Gusmawartati, Erlinda, Y., Puspita, F., & Syafrinal. (2025). Giving of cellulolytic bacteria consortium to produce quality banana peel compost. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1497(1), Article 012022. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1497/1/012022

Hitlamani, V., Lawrence, M.-T. J., Vanitha, H. D., & Inamdar, A. A. (2026). Plantain peel valorization: Extraction technologies, bioactive compounds, and applications in food, health, and sustainability. [REFERENCIA NO VERIFICADA: no se localizó en Crossref un artículo con este título y revista para estos autores; las autoras deben aportar el documento o enlace original antes del envío. Posible candidato relacionado, NO confirmado como el mismo trabajo: Hitlamani, V., Lawrence, M.-T. J., Vanitha, H. D., & Inamdar, A. A. (2026). Valorization of banana and plantain peels within a circular bioeconomy: Applications, opportunities, and future perspectives. Food and Humanity, 6, Article 101154. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101154].

Islam, M. S., Kasim, S., Alam, K. M., Amin, A. M., Hun, T. G., & Haque, M. A. (2021). Changes in chemical properties of banana pseudostem, mushroom media waste, and chicken manure through the co-composting process. Sustainability, 13(15), Article 8458. https://doi.org/10.3390/su13158458

Jayaprakash, K., Osama, A., Rajagopal, R., Goyette, B., & Karthikeyan, O. P. (2022). Agriculture waste biomass repurposed into natural fibers: A circular bioeconomy perspective. Bioresource Technology Reports, 17. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100942

Khatun, L., Nime, J., Nandi, R., Alam, M. M., & Saha, C. K. (2023). Co-digestion of poultry litter and banana waste for maximizing biogas production in Bangladesh. Energy Nexus, 12. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100232

Kitundu, M. P., Msuya, N. O., & Katima, Z. (2025). Production of potassium-rich biofertilizer from composted banana peels and watermelon rinds. Tanzania Journal of Engineering and Technology (TJET), 44(1), 118-136. https://doi.org/10.52339/tjet.v44i1.1128

Kumar, A., Rishabh, Singh, N., Gautam, Y. K., Priya, & Malik, N. (2025). Valorizing banana peel waste into mesoporous biogenic nanosilica and novel nano-biofertilizer formulation thereof via nano-biopriming inspired tripartite interaction studies. ACS Omega, 10(6), 5537-5553. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c08152

Kumari, S., Debbarma, R., Habibi, M., Haque, S., & Suprasanna, P. (2025). Banana waste valorisation and the development of biodegradable biofilms. Waste Management Bulletin, 3(3), Article 100213. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2025.100213

Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: Advancing the methodology. Implementation Science, 5(1), 69. https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69

Lockwood, C., Munn, Z., & Porritt, K. (2015). Qualitative research synthesis: Methodological guidance for systematic reviewers utilizing meta-aggregation. International Journal of Evidence-Based Healthcare, 13(3), 179-187.

Martínez, J. C., Davila, L., Zuluaga, R., Ricardo, A., Figueroa, J., de Almeida Oliveira, M. G., & Meriño-Cabrera, Y. (2025). Production of bacterial cellulose from banana waste (Musa paradisiaca): A sustainable material for making cardboard paper. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 63, Article 103484. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103484

Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. BMC Medical Research Methodology, 18(1), 143. https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pambudi, N. A., Firdaus, R. A., Ulfa, D. K., Nanda, I. R., Suharno, Syivarulli, R., Gandidi, I. M., & Sumbodo, W. (2025). Optimization of hydrothermal processing for banana peel waste: Enhancing solid fuel characteristics as a renewable energy source. Results in Engineering, 26, Article 104831. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104831

Pongsuwan, C., Boonsuk, P., Sermwittayawong, D., Aiemcharoen, P., Mayakun, J., & Kaewtatip, K. (2022). Banana inflorescence waste fiber: An effective filler for starch-based bioplastics. Industrial Crops and Products, 180, Article 114731. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114731

Putra, N. R., Aziz, A. H. A., Faizal, A. N. M., & Che Yunus, M. A. (2022). Methods and potential in valorization of banana peels waste by various extraction processes: In review. Sustainability, 14(17), Article 10571. https://doi.org/10.3390/su141710571

Silva-Alvarado, P. M., Orozco-Crespo, E., Verduga-Alcívar, D. A., Diéguez-Santana, K., Ruiz-Cedeño, S., & Sablón-Cossído, N. (2023). Prospectiva de la economía circular en una cadena agroalimentaria del banano. Tec Empresarial, 17(1), 34-52. https://doi.org/10.18845/te.v17i1.6475

Teshome, Z. T. (2022). Effects of banana peel compost rates on Swiss chard growth performance and yield in Shirka district, Oromia, Ethiopia. Heliyon, 8(8), Article e10097. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10097

Thagunna, B., Kandel, K., & Lamichhane, B. (2023). Banana blossom: Nutritional value, health benefits and its utilization. Reviews in Food and Agriculture (RFNA), 4(2), 66-70. https://doi.org/10.26480/rfna.02.2023.66.70

Thakkar, B., Arham, M., & Verma, N. (2025). Extraction & sustainable valorization of avocado seed and banana peel based waste biomass. Sustainable Chemistry One World, 8, Article 100118. https://doi.org/10.1016/j.scowo.2025.100118

Waraczewski, R., & Sołowiej, B. G. (2024). Potential valorization of banana production waste in developing countries: Bio-engineering aspects. Fibers, 12(9), Article 72. https://doi.org/10.3390/fib12090072