

The Impact of the Circular Economy on waste management in the food industry: A Systematic Review

Lucerito Katherine Ortiz García¹ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c25072@utp.edu.pe

Abstract– This systematic review analyses how circular economy (CE) based waste management influences the recovery and utilisation of food waste in the food industry. PIOC and PRISMA methodologies were applied to select 44 relevant studies from a total of 816 records in SCOPUS. The findings highlight the key role of the circular economy in optimising resources, minimising waste and creating added value through technologies such as anaerobic digestion, biorefinery, and microwave and ultrasound assisted extraction; despite challenges such as high upfront costs and lack of infrastructure, the circular economy offers significant environmental and economic benefits; and its implementation is aligned with SDGs 2, 6, 12, 13 and 15. Finally, research gaps are identified in the optimisation of large-scale technologies, the assessment of environmental impacts and the development of circular business models.

Keywords– Circular economy, waste management, by-product valorization, sustainability, food industry.

El impacto de la economía circular en la gestión de residuos en la industria alimentaria: Una revisión sistemática

Lucerito Katherine Ortiz García¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c25072@utp.edu.pe

Resumen– Esta revisión sistemática analiza cómo la gestión de residuos basada en la economía circular (EC) influye en la valorización y el aprovechamiento de residuos alimentarios en la industria alimentaria. Se aplicaron las metodologías PIOC y PRISMA para seleccionar 44 estudios relevantes de un total de 816 registros en SCOPUS. Los hallazgos destacan el papel clave de la economía circular en la optimización de recursos, la minimización de residuos y la creación de valor agregado mediante tecnologías como la digestión anaeróbica, la biorrefinería y la extracción asistida por microondas y ultrasonidos; pesar de desafíos como los altos costos iniciales y la falta de infraestructura, la economía circular ofrece beneficios ambientales y económicos significativos; además, su implementación está alineada con los ODS 2, 6, 12, 13 y 15. Finalmente, se identifican brechas de investigación en la optimización de tecnologías a gran escala, la evaluación de impactos ambientales y el desarrollo de modelos de negocio circulares.

Palabras clave-- Economía circular, gestión de residuos, valorización de subproductos, sostenibilidad, industria alimentaria.

I. INTRODUCCIÓN

La economía circular es un sistema económico que busca mantener y maximizar el valor de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible, optimizando su uso y minimizando tanto el desperdicio como la extracción de nuevos recursos; se promueve un enfoque holístico orientado a la valorización de residuos, especialmente aquellos de origen agroindustrial y biomasa [1], [2]; este enfoque permite conservar el valor de los recursos durante su ciclo de uso y reintroducirlos en el procesos productivo al final de su vida útil para generar nuevos productos [3], este sistema basado en la recuperación y reutilización de materiales, ha sido propuesto por la Comisión Europea como una estrategia clave para abordar los problemas ambientales y sociales derivados del modelo económico tradicional [4], caracterizado por un elevado consumo de recursos y una considerable generación de desechos [5]. En el ámbito de la producción agrícola, la economía circular se refleja en la recuperación y reutilización de residuos como insumos para otros procesos y métodos productivos [6].

El aumento constante de los desechos y la acumulación de alimentos generados anualmente, impulsado por el crecimiento de la población mundial, se asocia estrechamente con problemas de contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales [7]; además, la acelerada urbanización ha incrementado la demanda de alimentos, piensos y productos químicos, lo que ha intensificado el uso de recursos fósiles y la generación de residuos orgánicos. Ante este panorama, la valorización de residuos orgánicos emerge

como una solución para los desafíos de gestión de desechos, gracias a su abundancia, renovabilidad y fácil acceso [8]; sin embargo, la gestión inadecuada de los subproductos de la industria alimentaria continúa siendo un problema crítico a nivel global. Residuos como cáscaras de frutas y verduras, junto con restos del procesamiento de carnes y lácteos, suelen terminar en vertederos o incineradoras, desperdiciando su potencial como fuente de nutrientes, energía y productos de valor añadido, como biocombustibles y fertilizantes orgánicos [9], [10].

La implementación de prácticas de economía circular en la industria alimentaria tiene un impacto significativo, no solo en la reducción de residuos, sino también en la creación de nuevas oportunidades de negocio, la generación de empleos verdes y la mitigación del impacto ambiental [11], [12], a través de estrategias como la valorización de subproductos y la optimización en el uso de recursos; en este contexto es crucial comprender cómo la economía circular puede transformar la gestión de residuos en este sector.

El objetivo de esta revisión sistemática de la literatura es analizar cómo la gestión de residuos basada en la economía circular influye en la valorización de subproductos y la optimización de recursos en la industria alimentaria. Para abordar este objetivo, la revisión se estructura de la siguiente manera: en la sección II, Metodología, se presentan las tablas con preguntas orientadoras bajo el formato PICO y subpreguntas, junto con las estrategias de búsqueda y los criterios de elegibilidad; en la sección III se exponen los Resultados, la sección IV está dedicada a la Discusión, y finalmente, la sección V presenta las Conclusiones.

II. METODOLOGÍA

Se utilizó la técnica PIOC, un método que permite desglosar una pregunta de investigación en múltiples interrogantes empíricas, siguiendo el orden de: Problem (problema), Intervention (intervención), Outcome (resultado) y Context (contexto). Específicamente, en la TABLA I se presenta la pregunta orientadora PIOC junto con sus subpreguntas mientras que en la TABLA II se detallan los componentes del PIOC y las palabras clave utilizadas en el análisis.

TABLA I
PREGUNTA ORIENTADORA PIOC Y SUBPREGUNTAS

RQ: ¿Cómo la Gestión de residuos de economía circular de la industria alimentaria influye en la valorización – aprovechamiento de sus residuos de alimentos?

RQ1:	¿Qué es la economía circular y cuál es su relevancia en la industria alimentaria?
RQ2:	¿Cómo se implementan estrategias de economía circular en la cadena de suministro de alimentos?
RQ3:	¿Qué tecnologías y aspectos legales/regulatorios se utilizan para la valorización de residuos alimentarios en el marco de la economía circular?
RQ4:	¿Cuáles son los principales obstáculos, factores limitantes, impactos ambientales y beneficios económicos de la implementación de la economía circular y la gestión de residuos en la industria alimentaria?
RQ5:	¿Qué ODS se vinculan a la gestión de residuos en la industria alimentaria?
RQ6:	¿Qué brechas de conocimiento y áreas de investigación futuras se han identificado en relación con la aplicación de la gestión de residuos de economía circular y la valorización de residuos de alimentos para el desarrollo sostenible en la industria alimentaria?

TABLA II
COMPONENTES PIOC Y PALABRAS CLAVE

P	Residuos de alimentos	"food waste" OR "waste food" OR food OR "Food scraps" OR leftovers OR "Food discards" OR "Spoiled food" OR "Food remnants"
I	Gestión de residuos de la Economía circular	"Circular economy waste management" OR "Circular economy waste handling" OR "Circular economy waste control" OR "Circular economy waste disposal Circular economy waste treatment" OR "Circular economy waste processing" OR "Circular economy"
O	Valorización de los residuos - aprovechamiento	"Waste valorization – utilization" OR utilization OR "Waste valorization"
C	Industria alimentaria o alimentos	"Food industry" OR "Food sector" OR "Food business" OR "Food trade" OR "Food production" OR "Food manufacturing" OR food

A. Estrategia de Búsqueda

Partiendo de la TABLA II, se construyó la ecuación de búsqueda utilizada en la base de datos SCOPUS; a partir de los términos clave identificados, se elaboró la siguiente ecuación, empleando operadores booleanos (AND, OR) para optimizar la relevancia de los resultados: (*TITLE-ABS-KEY("food waste" OR "waste food" OR food OR "Food scraps" OR leftovers OR "Food discards" OR "Spoiled food" OR "Food remnants") AND TITLE-ABS-KEY("Circular economy waste management" OR "Circular economy waste handling" OR "Circular economy waste control" OR "Circular economy waste disposal" OR "Circular economy waste treatment" OR "Circular economy waste processing" OR "Circular economy") AND TITLE-ABS-KEY("Waste valorization – utilization" OR utilization OR "Waste valorization") AND TITLE-ABS-KEY("Food industry" OR "Food sector" OR "Food business" OR "Food trade" OR "Food production" OR "Food manufacturing" OR food)*).

B. Criterios de elegibilidad

Dentro del objetivo central del estudio, se definieron los siguientes criterios de inclusión para garantizar la relevancia y la calidad de los estudios seleccionados, en concordancia con la metodología de revisión sistemática empleada:

C.I.1. Los estudios deben abordar la gestión de residuos en las industrias de alimentos.

C.I.2. Los estudios deben abordar la Economía circular y su aplicación en la industria alimentaria.

C.I.3. Los estudios deben analizar la implementación de estrategias de economía circular en la cadena de suministros de alimentos.

C.I.4. Los estudios deben mostrar investigaciones sobre métodos, tecnologías y aspectos legales/regulatorios que se utilizan para la valorización de residuos alimentarios en el marco de la economía circular.

C.I.5. Los estudios deben evaluar los principales obstáculos, factores limitantes, impactos ambientales y beneficios económicos de la implementación de la economía circular y la gestión de residuos en la industria alimentaria.

C.I.6. Los estudios deben relacionar la gestión de residuos en la industria alimentaria con los ODS.

C.I.7. Los estudios deben identificar las brechas de conocimiento y áreas para futuras investigaciones en la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos alimentarios para el desarrollo sostenible en la industria alimentaria.

C.I.8. Los estudios deben reportar el modelo de gestión utilizado.

Por otro lado, los criterios de exclusión considerados fueron los siguientes:

C.E.1. Artículos publicados anteriores a 2019 y posteriores al 2024.

C.E.2. Artículos que no permitan un acceso libre.

C.E.3. No se incluyeron ciertos tipos de publicaciones que no correspondían al formato original de artículo, como tesis, ponencias en conferencias, libros de texto universitarios, material no indexado y estudios bibliométricos.

C.E.4. Los estudios que no se muestren en idioma inglés y español.

C. Selección de estudios

Como se muestra en la Fig.1, se presenta un resumen conciso del Protocolo PRISMA [13] utilizado para guiar el proceso de identificación, selección y elegibilidad de estudios relevantes; este enfoque permitió establecer un estrecha correspondencia entre los objetivos de la investigación y los estudios seleccionados, lo que resultó en la selección final de 44 trabajos para el análisis, a partir de un total de 816 registros identificados en SCOPUS relacionados con la economía circular.

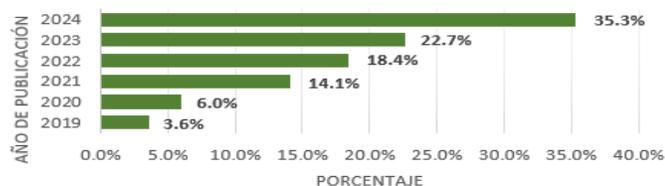


Fig. 3 Distribución porcentual de la literatura seleccionada según el año de publicación.

La Fig. 4 muestra la distribución geográfica de la literatura seleccionada sobre economía circular en la gestión de residuos alimentarios; Europa lidera con el 69.32% de los estudios, destacándose España (20.45%), Italia (9.09%), Grecia, Portugal y Reino Unido, evidenciando su compromiso en este ámbito; por otro lado, América contribuye con un 15.91%, especialmente Brasil (6.82%) y Estados Unidos (4.55%), lo que refleja un interés creciente, aunque menor en comparación con Europa; Asia aporta un 6.81%, liderado por China e Irán, donde se observan avances en la adopción de enfoques circulares; Oceanía y África representan un 4.55%, con contribuciones incipientes de Australia, Nueva Zelanda y Nigeria, lo que sugiere un desarrollo incipiente en estas regiones. En conjunto la distribución geográfica pone de manifiesto el liderazgo europeo y el interés emergente en otras partes del mundo.

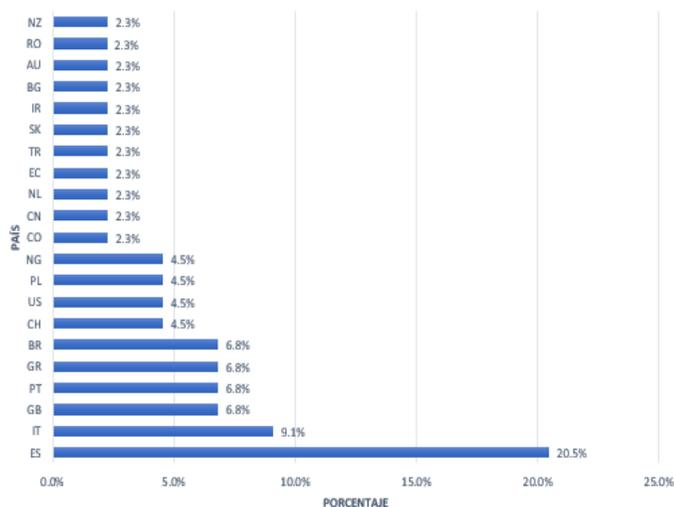


Fig. 4 Distribución porcentual de la literatura seleccionada

En la Tabla III, se muestran las principales revistas consultadas en la investigación, junto con su respectivo cuartil asignado en Scopus, donde Q1 corresponde a las revistas de mayor impacto científico. Se identificaron 18 artículos clasificados en Q1, 10 artículos en Q2, 1 artículo en Q3 y 1 artículo en Q4; este resultado refleja el rigor metodológico de la investigación, al basarse principalmente en artículos publicados en revistas de alto impacto (Q1), lo que garantiza la solidez y la calidad de las fuentes utilizadas.

TABLA III
REVISTAS DE ALTO IMPACTO IDENTIFICADAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Revista	Cuartil
ACS Applied Materials and Interfaces	Q1
Animals	Q1
Applied Sciences (Switzerland)	Q2
Biomass Conversion and Biorefinery	Q2
Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety	Q1
eFood	Q1
Energies	Q2
Farmacia	Q2
Fermentation	Q2
Fluids	Q2
Food and Bioprocess Technology	Q1
Food and Bioproducts Processing	Q1
Food Research International	Q1
Foods	Q1
Frontiers in Sustainable Food Systems	Q2
International Journal of Environmental Research and Public Health	Q1
International Journal of Life Cycle Assessment	Q1
Journal of Cleaner Production	Q1
Journal of Ecological Engineering	Q3
LWT	Q1
New Biotechnology	Q1
Resources, Conservation and Recycling	Q1
Science of the Total Environment	Q1
Scientific Reports	Q1
Separation and Purification Technology	Q1
SN Applied Sciences	Q2
Sustainability (Switzerland)	Q2
Waste and Biomass Valorization	Q2
Waste Management	Q1
Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc/Food. Science Technology. Quality	Q4

La Fig.5 muestra que la mayor parte de la investigación relacionada con la economía circular y la gestión de residuos se concentra en "Ciencias Ambientales" (20.6%) y "Ciencias Agrícolas y Biológicas" (12.7%), lo cual refleja el enfoque en sostenibilidad y residuos biológicos; además destacan áreas como "Ingeniería" (10.8%) y "Energía" (10.3%), fundamentales para optimizar recursos y fomentar la innovación tecnológica para abordar integral la economía circular en la industria alimentaria.

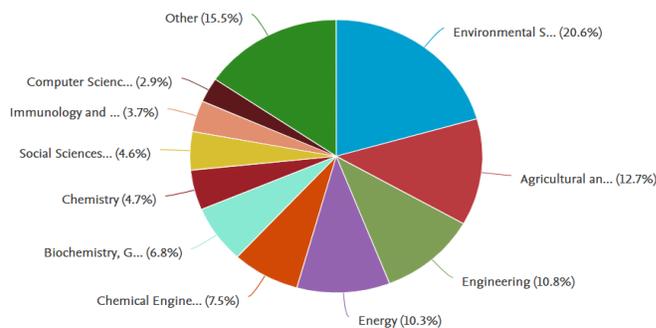


Fig. 5 Áreas de estudios que están trabajando con la Economía Circular.

B. Resultados de contenido de la revisión sistemática

La gestión de residuos basada en la economía circular (EC) influye de manera significativa en la valorización y optimización de subproductos en la industria alimentaria; en este contexto, es fundamental evaluar cómo la EC impacta en estos procesos para identificar oportunidades de mejora y sostenibilidad. Por consiguiente, se abordan las siguientes preguntas de investigación, orientadas a analizar de forma sistemática el impacto de la economía circular en la valorización de residuos alimentarios en la industria de alimentos:

RQ1: ¿Qué es la economía circular y cuál es su relevancia en la industria alimentaria?

La economía circular (EC) es un modelo económico que busca optimizar el uso de los recursos mediante la reutilización, el reciclaje y la reducción de residuos; su relevancia en la industria alimentaria radica en el aprovechamiento de residuos y subproductos para desarrollar nuevos productos y procesos que promuevan la sostenibilidad. En este sentido, la TABLA IV presenta 9 autores españoles seleccionados entre los 44 artículos revisados, dados se seleccionaron 9 autores españoles entre los 44 artículos revisados, dado que España es uno de los países con mayor producción científica en este ámbito; además se constata que los autores de otros países coinciden en sus definiciones de EC, lo que refleja un consenso internacional sobre su conceptualización y aplicación.

TABLA IV
DEFINICIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR

Autor	Economía Circular
[21]	Es la valoración del subproducto del lino para transformarlos en materiales compuestos útiles para aplicaciones como embalajes y utensilios desechables.
[22]	Es proponer un modelo sostenible para la gestión de residuos en la producción de aceite de oliva.
[23].	Es contribuir a la minimización de desechos generados, promoviendo prácticas más sostenibles.
[24]	Es ayudar a que los subproductos de la industria cervecera puedan ser utilizados para producir materiales biodegradables.
[25]	Es transformar los residuos alimentarios en recursos útiles, contribuyendo a la sostenibilidad y reduciendo el desperdicio en la industria alimentaria.
[26]	Es contribuir a la sostenibilidad en un sector que genera grandes cantidades de residuos, los cuales pueden someterse a procesos que los revaloricen.
[27]	Es contribuir a la revalorización de residuos orgánicos que, de otro modo, serían desperdiciados, promoviendo un ciclo cerrado de reutilización.
[28]	Es la valorización de residuos de cáscaras de papa violeta como una fuente de compuestos bioactivos, específicamente polifenoles.
[29]	Es la valorización de residuos, específicamente la cáscara de garbanzo, para la producción de fibras dietéticas.

Asimismo, la economía circular tiene gran relevancia por las siguientes razones:

▪ Valorización de residuos alimentarios

Uno de los enfoques clave de la economía circular (EC) en la industria alimentaria es la valorización de subproductos que, tradicionalmente, se consideran desechos, un ejemplo de ello se encuentra en los estudios de [30], [31], [32], [33], que abordan la valorización del suero de leche como subproducto para la producción de bebidas funcionales, enzimas y biopolímeros, biodiésel microbiano y alimento para animales, respectivamente; este tipo de valorización no solo permite reducir la cantidad de residuos generados en el proceso de producción de alimentos, sino que también contribuye al desarrollo de productos de alto valor añadido [23], en respuesta a la creciente demanda de alimentos más saludables y sostenibles [25]; de este modo, este enfoque es crucial para avanzar hacia una cadena alimentaria más eficiente y circular, donde los residuos se minimizan y los subproductos se transforman en recursos útiles [28].

▪ Innovación en productos y procesos

Otra dimensión relevante de este estudio es su contribución a la innovación en productos y procesos, donde la EC se aplica mediante la reutilización de materiales que habitualmente no tienen valor. Corchado-Lopo [24] proponen la reutilización de residuos de las industrias de la cerveza y el café para la producción de materiales biodegradables, en este sentido, este tipo de innovación no solo contribuye a la reducción de desechos, sino que también impulsa el desarrollo de soluciones sostenibles para sectores industriales, especialmente en el de empaques, lo cual resulta esencial en un contexto global donde la reducción de plásticos es una prioridad ambiental.

▪ Optimización del uso de recursos

La optimización del uso de recursos es un tercer aspecto fundamental que este estudio aborda en el marco de la economía circular (EC); un ejemplo de esta optimización se encuentra en el trabajo de Nikkhah et al. [34], quienes analizaron la reutilización de conchas de bivalvos para la producción de suplementos alimenticios; esta práctica no solo disminuye el impacto ambiental al reducir la acumulación de residuos marinos, sino que también incrementa la eficiencia en el uso de los recursos, transformando desechos en productos de alto valor nutritivo, contribuyendo así a la sostenibilidad en la industria alimentaria.

▪ Minimización de residuos y generación de valor añadido

Finalmente, este estudio destaca por su contribución a la minimización de residuos, uno de los pilares de la economía circular; un ejemplo de ello está presente en las investigaciones [26], [27], [35], [36], [37], que examinan la reutilización de cáscaras de naranja; subproductos de plantas como la cáscara de castaña (*Castanea sativa*), cáscara de

bellota (*Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*), hojas de olivo (*Olea europaea*), tallos de uva (*Vitis vinifera*), así como subproductos del olivo, pepas de aceituna y residuos ganaderos para la producción de biocombustibles; estos enfoques no solo minimizan los desechos generados en la industria alimentaria, sino que también permiten generar valor añadido a partir de residuos que, de otro modo, serían descartados [27], [37]. La creación de biocombustibles a partir de subproductos agrícolas no solo promueve la sostenibilidad, sino que también reduce la dependencia de combustibles fósiles, alineándose con los objetivos globales de reducción de emisiones de carbono y la transición hacia fuentes de energías más limpias.

RQ2: ¿Cómo se implementan estrategias de economía circular en la cadena de suministro de alimentos?

La implementación de las estrategias de economía circular en la cadena de suministro de alimentos se basa en tres enfoques interrelacionados, como se muestra en la Fig. 6:

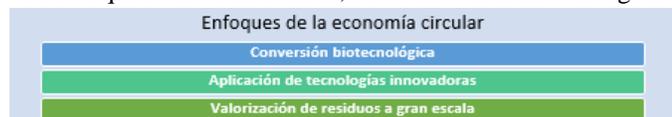


Fig. 6 Implementación de estrategias de Economía Circular.

En la aplicación de estas estrategias, se integran nuevas tecnologías que permiten transformar residuos en recursos de alto valor; por ejemplo, en el caso de las cáscaras de papa violeta, se emplean procesos experimentales para la recuperación de polifenoles, obteniendo productos con potencial comercial [28]; asimismo, para los residuos de pan, se implementan técnicas de bioconversión destinadas a la generación de biomasa, la cual puede utilizarse como ingrediente en la cadena alimentaria, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad [38]. Finalmente, se promueve la valorización de residuos ganaderos mediante el uso de tecnologías avanzadas, que permiten su reutilización en procesos industriales o su conversión en energías renovables, como biogás o biodiésel [37]; estas estrategias no solo optimizan el uso de recursos, sino que también fortalecen la resiliencia de la cadena de suministro de alimentos, reducen la dependencia de insumos fósiles y mitigan el impacto ambiental.

RQ3: ¿Qué tecnologías y aspectos legales/regulatorios se utilizan para la valorización de residuos alimentarios en el marco de la economía circular?

La implementación de estrategias de valorización de residuos alimentarios en el marco de la economía circular (EC) se sustenta en el uso de tecnologías avanzadas y en un entorno regulatorio que fomenta la sostenibilidad; como se muestra en la TABLA V y VI, se han extraído datos relevantes sobre los tipos de residuos valorizados, tecnologías de valorización, rendimientos de extracción y las normativas locales, nacionales e internacionales que regulan estos procesos en la industria alimentaria. El análisis de la TABLA

V evidencia la diversidad de tecnologías empleadas para la valorización de residuos; destacan métodos innovadores como la extracción asistida por microondas (MAE) y el ultrasonido (UAE), que permiten la recuperación de compuestos de alto valor agregado, como polifenoles y antioxidantes; por otro lado, tecnologías más accesibles, como el compostaje, ofrecen soluciones sostenibles en contextos con limitaciones tecnológicas [39], [40]; además, el uso de solventes sostenibles refleja un paradigma de innovación que equilibra la viabilidad económica con la sostenibilidad ambiental, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [41], [42], [43]; en este sentido, la valorización de residuos no solo reduce la generación de desechos, sino que también impulsa modelos de producción más eficientes, transformando pasivos ambientales en recursos estratégicos [44]; sin embargo, persisten desafíos significativos, especialmente en la transferencia de estas tecnologías a escala industrial en países en desarrollo [45], y en el cumplimiento de normativas internacionales, como la Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE) [46].

Por su parte, la Tabla VI ofrece una perspectiva integral sobre cómo las normativas actúan como catalizadores para la adopción tecnológica, incentivando a las empresas a implementar innovaciones como la digestión anaeróbica y la extracción asistida por ultrasonidos [47]; no obstante, en economías emergentes, estas regulaciones pueden representar barreras debido a la falta de infraestructura y recursos financieros, lo que limita la adopción de tecnologías más avanzadas [48], [49]; además, el marco regulatorio demuestra una conexión directa con los ODS; la gestión de residuos analizada se alinea con el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) al fomentar la reutilización de subproductos agroindustriales para reducir desechos, el ODS 13 (Acción por el Clima) al fomentar prácticas que disminuyen la huella de carbono y el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) al incentivar la recuperación de nutrientes en subproductos agrícolas [50], [51], [52]; esto subraya la importancia de un marco normativo integral que articule prácticas locales con objetivos globales de sostenibilidad, impulsando una economía circular efectiva en la industria alimentaria.

TABLA V
RESIDUOS VALORIZADOS Y TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN

Autor	Tipo de residuos	Tecnologías de valorización	Rendimiento de extracción (%)
[28]	Cáscaras de papa violeta	Extracción asistida por microondas (MAE), Ultrasonido (UAE)	15.67%
[38]	Pan de desecho	Biorreactor, Hidrólisis enzimática, Fermentación	97%
[53]	Plumas	Digestión anaeróbica, Compostaje, Fermentación	70 al 90%
[27]	Cáscara de naranja	Extracción con disolventes sostenibles, Hidrólisis ácida	17.23% y 20.61%
[30]	Suero de leche	Ultrafiltración, Tecnologías enzimáticas	-

[54]	Residuos de café	Biorrefinerías, Digestión anaeróbica, Compostaje	6.6%
[22]	Aceite de oliva	Centrífuga, Calentador	-
[55]	Cáscaras de cacao	Cavitación hidrodinámica (HC), Ultrasonido (UAE)	20.5% (hidrofilicas), 15.8% (lipofilicas)

TABLA VI
RESIDUOS VALORIZADOS Y NORMAS

Autor	Tipo de residuos	Normativas Aplicables
[29]	Cáscara de garbanzo	Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE)
[56]	Cáscara de girasol	ISO 18122:2015, ISO 845:2010, ASTM C421-08(2020), ASTM D2126-10(2019) y ASTM D5988-18
[57]	Residuos de almazara	Estándares europeos para fertilizantes orgánicos.
[34]	Conchas de bivalvos	Plan de Acción de Economía Circular de la Comisión Europea y Regulaciones sobre sostenibilidad
[30]	Suero de leche	Directiva UE (2008/98/EC)
[27]	Cáscaras de naranja	EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria).
[54]	Residuos de café	Acuerdo de París, Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible
[22]	Aceite de oliva	Metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)
[55]	Cáscaras de cacao	Directiva UE (2008/98/EC)

RQ4: ¿Cuáles son los principales obstáculos, factores limitantes, impactos ambientales y beneficios económicos de la implementación de la economía circular y la gestión de residuos en la industria alimentaria?

La implementación de la economía circular y la gestión de residuos en la industria alimentaria enfrenta diversos desafíos, como los altos costos iniciales, la falta de infraestructura adecuada y las limitaciones tecnológicas asociadas a la escalabilidad de los procesos industriales [28], [38]; no obstante, estudios recientes destacan efectos ambientales positivos, como la reducción del desperdicio de alimentos y la disminución de la huella ecológica mediante la valorización de residuos agroalimentarios [29], [37]. En el ámbito económico, se observa la generación de valor agregado a través de la recuperación de subproductos valiosos y una mayor eficiencia en el uso de recursos, lo que contribuye a la reducción de costos operativos [28].

RQ5: ¿Qué ODS se vinculan a la gestión de residuos en la industria alimentaria?

El análisis de los documentos seleccionados evidencia que la economía circular (EC) desempeña un papel crucial en la gestión de residuos de la industria alimentaria, promoviendo prácticas sostenibles como el uso de solventes ecológicos y tecnologías ambientalmente sostenibles. Estas iniciativas no solo optimizan los procesos de extracción sostenible, sino que también se alinean con el marco de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, contribuyendo directamente al cumplimiento de 21 de las 169 metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [4]; en particular, la EC impacta positivamente en los ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), 7

(Energía asequible y no contaminante), 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), 12 (Producción y consumo responsables) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) [22]; además, este enfoque integral refuerza la transición hacia sistemas productivos más sostenibles, impulsando la innovación en la industria alimentaria.

RQ6: ¿Qué brechas de conocimiento y áreas de investigación futuras se han identificado en relación con la aplicación de la gestión de residuos de economía circular y la valorización de residuos de alimentos para el desarrollo sostenible en la industria alimentaria?

A pesar de los avances en la gestión de residuos y la economía circular en la industria alimentaria, persisten importantes brechas de conocimiento que requieren atención; se necesitan más estudios a gran escala para optimizar los procesos de transformación de residuos en productos de valor agregado [22], [38], [53], así como investigaciones que aborden la viabilidad tecnológica de la valorización a nivel industrial y el desarrollo de marcos regulatorios adecuados. Además, es fundamental una caracterización más precisa de los residuos para diseñar estrategias de valorización más eficientes [32]. Otro aspecto clave es la evaluación del impacto ambiental y social de estas prácticas, junto con el desarrollo de modelos de negocio innovadores que fomenten la economía circular. Asimismo, se identifica la necesidad de realizar estudios in vitro e in vivo para comprender mejor las propiedades funcionales de los compuestos bioactivos extraídos de residuos alimentarios [28], así como la recuperación eficiente de nutrientes y componentes de alto valor añadido. Finalmente, la promoción de la colaboración entre actores clave, como la industria, el sector académico y los responsables de políticas públicas, resulta esencial para impulsar la investigación interdisciplinaria

IV. CONCLUSIONES

Los resultados bibliométricos destacan a la economía circular como un paradigma clave en la gestión de residuos alimentarios, evidenciado por un creciente volumen de publicaciones científicas, especialmente en Europa; este interés refleja la relevancia del tema en disciplinas como las ciencias ambientales, la ingeniería y la energía, lo que demuestra un enfoque interdisciplinario consolidado.

La economía circular es un modelo económico orientado a la optimización de recursos, la minimización de residuos y la creación de ciclos cerrados de producción. En la industria alimentaria, su relevancia radica en la capacidad de transformar residuos en insumos valiosos para nuevos procesos productivos, contribuyendo a la sostenibilidad y la eficiencia operativa.

Las estrategias incluyen tecnologías avanzadas como bioconversión, extracción de polifenoles, y valorización energética de residuos; a su vez, estas prácticas permiten transformar desechos en recursos útiles, reduciendo la huella

ambiental y fomentando la circularidad en la cadena alimentaria.

Tecnologías como extracción asistida por microondas y ultrasonidos destacan por su eficacia en recuperar compuestos bioactivos; así también, estas prácticas están reguladas por normativas internacionales, como la Directiva Marco de Residuos de la UE, que fomenta estándares de sostenibilidad y eficiencia en la gestión de residuos.

Los principales obstáculos incluyen altos costos iniciales y falta de infraestructura, mientras que los beneficios abarcan la reducción de desechos, generación de valor agregado y mitigación de la huella ambiental; asimismo, la economía circular fomenta una gestión más eficiente y sostenible de recursos en la industria alimentaria.

La gestión de residuos en la industria alimentaria está vinculada a los ODS 2, 6, 12, 13 y 15, destacando la reducción de desperdicios, optimización de recursos, mitigación de emisiones y sostenibilidad en ecosistemas terrestres, en línea con objetivos globales de desarrollo sostenible.

Las brechas incluyen la optimización de tecnologías a gran escala, estudios sobre impacto ambiental y social, y desarrollo de modelos de negocio circulares; además, se requiere fortalecer la colaboración interdisciplinaria y regional para maximizar el aprovechamiento de los residuos alimentarios y promover la innovación sostenible.

REFERENCIAS

- [1] E. Neczaj y A. Grosser, «New products from old wastes concept-Analysis of the current state of ce in biodegradable waste management», en *Biodegradable Waste Manag. in the Circular Econ.: Challenges and Opportunities*, Wiley Blackwell, 2022, pp. 19-53. doi: 10.1002/9781119679523.ch3.
- [2] A. Blasi, A. Verardi, y P. Sangiorgio, «The zero-waste economy: from food waste to industry», en *Membrane Engineering in the Circular Economy: Renew. Sources Valorization in Energy and Downstr. Processing in Agro-food Industry*, Elsevier, 2022, pp. 63-100. doi: 10.1016/B978-0-323-85253-1.00006-X.
- [3] K. Shirvanimoghaddam, B. Motamed, S. Ramakrishna, y M. Naebe, «Death by waste: Fashion and textile circular economy case», *Sci. Total Environ.*, vol. 718, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137317.
- [4] S. Ojha, S. Bußler, y O. K. Schlüter, «Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing», *Waste Manag.*, vol. 118, pp. 600-609, 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.09.010.
- [5] K. Chojnacka, K. Moustakas, y A. Witek-Krowiak, «Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy», *Bioresour. Technol.*, vol. 295, 2020, doi: 10.1016/j.biortech.2019.122223.
- [6] Z. Zhu, U. Yogev, K. J. Keesman, y A. Gross, «Promoting circular economy: Comparison of organic wastes into value-added products with anaerobic digestion and conventional aquaponic systems on nutrient dynamics and sustainability», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 208, 2024, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107716.
- [7] H. S. Ng, P. E. Kee, H. S. Yim, P.-T. Chen, Y.-H. Wei, y J. Chi-Wei Lan, «Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts», *Bioresour. Technol.*, vol. 302, 2020, doi: 10.1016/j.biortech.2020.122889.
- [8] S. Chavan, B. Yadav, A. Atmakuri, R. D. Tyagi, J. W. C. Wong, y P. Drogui, «Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review», *Bioresour. Technol.*, vol. 344, 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2021.126398.
- [9] M. Dora, S. Biswas, S. Choudhary, R. Nayak, y Z. Irani, «A system-wide interdisciplinary conceptual framework for food loss and waste mitigation strategies in the supply chain», *Ind. Mark. Manag.*, vol. 93, pp. 492-508, 2021, doi: 10.1016/j.indmarman.2020.10.013.
- [10] M. Donner, A. Verniquet, J. Broeze, K. Kayser, y H. De Vries, «Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 165, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105236.
- [11] D. E. A. Tedesco, C. Conti, D. Lovarelli, E. Biazzi, y J. Bacenetti, «Bioconversion of fruit and vegetable waste into earthworms as a new protein source: The environmental impact of earthworm meal production», *Sci. Total Environ.*, vol. 683, pp. 690-698, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.226.
- [12] D. Bentivoglio, G. Chiaraluce, y A. Finco, «Economic assessment for vegetable waste valorization through the biogas-biomethane chain in Italy with a circular economy approach», *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 6, 2022, doi: 10.3389/fsufs.2022.1035357.
- [13] M. J. Page *et al.*, «Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas», *Rev. Esp. Cardiol.*, vol. 74, n.º 9, pp. 790-799, sep. 2021, doi: 10.1016/j.recsep.2021.06.016.
- [14] N. J. Van Eck y L. Waltman, *VOSviewer - Visualizing scientific landscapes*. (2024). Centre for Science and Technology Studies (CWTS). Accedido: 8 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.vosviewer.com/>
- [15] M. Hamam, M. D'Amico, y G. Di Vita, «Advances in the insect industry within a circular bioeconomy context: a research agenda», *Environ. Sci. Eur.*, vol. 36, n.º 1, 2024, doi: 10.1186/s12302-024-00861-5.
- [16] N. Sharma *et al.*, «Transforming waste into valuable resources: Harnessing the potential of pectin obtained from organic waste for the food and healthcare industries», *Food Biosci.*, vol. 62, 2024, doi: 10.1016/j.fbio.2024.105190.
- [17] S. R. Mathura, A. C. Landázuri, F. Mathura, A. G. Andrade Sosa, y L. M. Orejuela-Escobar, «Hemicelluloses from bioresidues and their applications in the food industry - towards an advanced bioeconomy and a sustainable global value chain of chemicals and materials», *Sustain. Food Technol.*, vol. 2, n.º 5, pp. 1183-1205, 2024, doi: 10.1039/d4fb00035h.
- [18] J. Chodkowska-Miszczuk, S. Martinát, y D. van der Horst, «Changes in feedstocks of rural anaerobic digestion plants: External drivers towards a circular bioeconomy», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 148, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111344.
- [19] C. F. F. A. Costa, C. L. Amorim, A. F. Duque, M. A. M. Reis, y P. M. L. Castro, «Valorization of wastewater from food industry: moving to a circular bioeconomy», *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 21, n.º 1, pp. 269-295, 2022, doi: 10.1007/s11157-021-09600-1.
- [20] V. Díaz, J. C. Leyva-Díaz, M. C. Almécija, J. M. Poyatos, M. del Mar Muñío, y J. Martín-Pascual, «Microalgae bioreactor for nutrient removal and resource recovery from wastewater in the paradigm of circular economy», *Bioresour. Technol.*, vol. 363, 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2022.127968.
- [21] A. Agüero, D. Lascano, D. García-Sanoguera, O. Fenollar, y S. Torres-Giner, «Valorization of linen processing by-products for the development of injection-molded green composite pieces of polylactide with improved performance», *Sustain. Switz.*, vol. 12, n.º 2, 2020, doi: 10.3390/su12020652.
- [22] I. Carmona, I. Aguirre, D. M. Griffith, y A. García-Borrego, «Towards a circular economy in virgin olive oil production: Valorization of the olive mill waste (OMW) "alpeorajo" through polyphenol recovery with natural deep eutectic solvents (NADESs) and vermicomposting», *Sci. Total Environ.*, vol. 872, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162198.
- [23] C. Conesa, N. Laguarda-Miró, P. Fito, y L. Seguí, «Evaluation of Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante) Industrial Residue as a Source for Value Added Products», *Waste Biomass Valorization*, vol. 11, n.º 7, pp. 3749-3760, 2020, doi: 10.1007/s12649-019-00621-0.
- [24] C. Corchado-Lopo *et al.*, «Brewer's spent grain as a no-cost substrate for polyhydroxyalkanoates production: Assessment of pretreatment strategies and different bacterial strains», *New Biotechnol.*, vol. 62, pp. 60-67, 2021, doi: 10.1016/j.nbt.2021.01.009.
- [25] A. Cortés, X. Esteve-Llorens, S. González-García, M. T. Moreira, y G. Feijoo, «Multi-product strategy to enhance the environmental profile of the canning industry towards circular economy», *Sci. Total Environ.*, vol. 791, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148249.

- [26] M. Donner y I. Radić, «Innovative circular business models in the olive oil sector for sustainable mediterranean agrifood systems», *Sustain. Switz.*, vol. 13, n.º 5, pp. 1-23, 2021, doi: 10.3390/su13052588.
- [27] O. Figueira, V. Pereira, y P. C. Castilho, «A Two-Step Approach to Orange Peel Waste Valorization: Consecutive Extraction of Pectin and Hesperidin», *Foods*, vol. 12, n.º 20, 2023, doi: 10.3390/foods12203834.
- [28] G. Grillo *et al.*, «Food-Waste Valorisation: Synergistic Effects of Enabling Technologies and Eutectic Solvents on the Recovery of Bioactives from Violet Potato Peels», *Foods*, vol. 12, n.º 11, 2023, doi: 10.3390/foods12112214.
- [29] R. Rebolledo-Leiva, L. Sillero, M. T. Moreira, y S. González-García, «Identifying the environmental hotspots of dietary fibres extraction from chickpea hull», *Food Bioprod. Process.*, vol. 142, pp. 59-69, 2023, doi: 10.1016/j.fbp.2023.09.004.
- [30] I. K. Lappa *et al.*, «A comprehensive bioprocessing approach to foster cheese whey valorization: On-site β -galactosidase secretion for lactose hydrolysis and sequential bacterial cellulose production», *Fermentation*, vol. 7, n.º 3, 2021, doi: 10.3390/fermentation7030184.
- [31] V. Schoina, A. Terpou, A. Papadaki, L. Bosnea, N. Kopsahelis, y M. Kanellaki, «Enhanced aromatic profile and functionality of cheese whey beverages by incorporation of probiotic cells immobilized on pistacia terebinthus resin», *Foods*, vol. 9, n.º 1, 2020, doi: 10.3390/foods9010013.
- [32] S. Donzella *et al.*, «Recycling Food Waste and Saving Water: Optimization of the Fermentation Processes from Cheese Whey Permeate to Yeast Oil», *Fermentation*, vol. 8, n.º 7, 2022, doi: 10.3390/fermentation8070341.
- [33] B. Soumati, M. Atmani, A. Benabderrahmane, y M. Benjelloun, «Whey Valorization – Innovative Strategies for Sustainable Development and Value-Added Product Creation», *J. Ecol. Eng.*, vol. 24, n.º 10, pp. 86-104, 2023, doi: 10.12911/229988993/169505.
- [34] I. Eleghede, A. Lawal-Are, O. Favour, T. Jolaosho, y A. Goussanou, «Chemical compositions of bivalves shells: Anadara senilis, Crassostrea gasar, and Mytilus edulis and their potential for a sustainable circular economy», *SN Appl. Sci.*, vol. 5, n.º 1, 2023, doi: 10.1007/s42452-022-05267-7.
- [35] R. B. Martins, N. Jorge, M. S. Lucas, A. Raymundo, A. I. R. N. A. Barros, y J. A. Peres, «Food By-Product Valorization by Using Plant-Based Coagulants Combined with AOPs for Agro-Industrial Wastewater Treatment», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, n.º 7, 2022, doi: 10.3390/ijerph19074134.
- [36] A. Nikkhah, S. Firouzi, K. Dadaei, y S. Van Haute, «Measuring circularity in food supply chain using life cycle assessment; refining oil from Olive Kernel», *Foods*, vol. 10, n.º 3, 2021, doi: 10.3390/foods10030590.
- [37] W. L. Soon *et al.*, «Renewable Energy from Livestock Waste Valorization: Amyloid-Based Feather Keratin Fuel Cells», *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 15, n.º 40, pp. 47049-47057, 2023, doi: 10.1021/acsami.3c10218.
- [38] E. Carsamba, B. Agirman, S. Papanikolaou, P. Fickers, y H. Erten, «Valorisation of Waste Bread for the Production of Yeast Biomass by *Yarrowia lipolytica* Bioreactor Fermentation», *Fermentation*, vol. 9, n.º 7, 2023, doi: 10.3390/fermentation9070687.
- [39] L. Bhatia, D. S. V. G. K. Kaladhar, T. Sarkar, H. Jha, y B. Kumar, «Food wastes phenolic compounds (PCs): overview of contemporary greener extraction technologies, industrial potential, and its integration into circular bioeconomy», *Energy Ecol. Environ.*, vol. 9, n.º 5, pp. 455-485, 2024, doi: 10.1007/s40974-024-00321-z.
- [40] M. Montemurro, M. Casertano, A. Vilas-Franquesa, C. G. Rizzello, y V. Fogliano, «Exploitation of spent coffee ground (SCG) as a source of functional compounds and growth substrate for probiotic lactic acid bacteria», *LWT*, vol. 198, 2024, doi: 10.1016/j.lwt.2024.115974.
- [41] K. Kumareswaran, S. Ranasinghe, G. Y. Jayasinghe, y K. B. Dassanayake, «Systematic review on liquid organic waste (LOW) characteristics, processing technologies, and their potential applications: Towards circular economy and resource efficiency», *J. Clean. Prod.*, vol. 447, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141286.
- [42] A. R. Al-Hilphy, S. M. Al-Shatty, A. A. A. Al-Mtury, y M. Gavahian, «Solar Energy-assisted Extraction of Carp Fish Viscera Oil: New Sustainable Waste Valorization Platform», *Waste Biomass Valorization*, vol. 15, n.º 4, pp. 2159-2173, 2024, doi: 10.1007/s12649-023-02265-7.
- [43] A. Kalogiannis, V. Diamantis, A. Eftaxias, y K. Stamatelatu, «Long-Term Anaerobic Digestion of Seasonal Fruit and Vegetable Waste Using a Leach-Bed Reactor Coupled to an Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor», *Sustain. Switz.*, vol. 16, n.º 1, 2024, doi: 10.3390/su16010050.
- [44] Y. Mao, J. P. Robinson, y E. R. Binner, «Current status of microwave-assisted extraction of pectin», *Chem. Eng. J.*, vol. 473, 2023, doi: 10.1016/j.cej.2023.145261.
- [45] S. Ma, H. Zhang, Y. Shen, J. Feng, J. Wang, y B. Ye, «Practice of Japan's waste treatment and utilization and inspiration for China», *Nongye Gongcheng Xuebao Transactions Chin. Soc. Agric. Eng.*, vol. 40, n.º 16, pp. 196-201, 2024, doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403157.
- [46] D. Skrzypczak *et al.*, «Recent innovations in fertilization with treated digestate from food waste to recover nutrients for arid agricultural fields», *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 31, n.º 29, pp. 41563-41585, 2024, doi: 10.1007/s11356-023-31211-2.
- [47] R. Idrishi, D. Aggarwal, y V. Sharma, «Upcycling Technologies in the Food Industry», en *Smart and Sustainable Food Technologies*, 2022, pp. 367-392. doi: 10.1007/978-981-19-1746-2_13.
- [48] U. Danya, M. Kamaraj, P. S. Babu, y J. Aravind, «Bibliometric analysis and review of food waste management via sustainable approaches», *Glob. J. Environ. Sci. Manag.*, vol. 10, n.º 4, pp. 2127-2144, 2024, doi: 10.22034/gjesm.2024.04.38.
- [49] S. Manzoor *et al.*, «Sustainable development goals through reducing food loss and food waste: A comprehensive review», *Future Foods*, vol. 9, 2024, doi: 10.1016/j.fufo.2024.100362.
- [50] S. Manzoor *et al.*, «Sustainable development goals through reducing food loss and food waste: A comprehensive review», *Future Foods*, vol. 9, 2024, doi: 10.1016/j.fufo.2024.100362.
- [51] N. A. Sagar, M. Pathak, H. Sati, S. Agarwal, y S. Pareek, «Advances in pretreatment methods for the upcycling of food waste: A sustainable approach», *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 147, 2024, doi: 10.1016/j.tifs.2024.104413.
- [52] R. Bhat, M. Sharma, R. Rätsep, D. Malenica, y K. Jögi, «Challenges and Prospects of Tackling Food Loss and Wastes in the Circular Economy Context», en *Sustainable Food Value Chain Development: Perspectives from Developing and Emerging Economies*, 2023, pp. 15-36. doi: 10.1007/978-981-19-6454-1_2.
- [53] I. Campos, E. Matos, A. Marques, y L. M. P. Valente, «Hydrolyzed feather meal as a partial fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles», *Aquaculture*, vol. 476, pp. 152-159, 2017, doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.024.
- [54] E. Pagliarini *et al.*, «Valorization of coffee wastes as plant growth promoter in mulching film production: A contribution to a circular economy», *Sci. Total Environ.*, vol. 871, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162093.
- [55] G. Grillo *et al.*, «Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors», *Food Res. Int.*, vol. 115, pp. 200-208, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2018.08.057.
- [56] P. Zakrzewska, M. Kuźnia, B. Zygmont-Kowalska, A. Magiera, y A. Magdziarz, «Utilization of Sunflower Husk Ash in the Production of Polyurethane Materials», *Energies*, vol. 16, n.º 24, 2023, doi: 10.3390/en16248080.
- [57] R. D. C. Leite *et al.*, «Bauxite residue valorization — Soil conditioners production through composting with palm oil mill residual biomass», *Sci. Total Environ.*, vol. 835, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155413.
- [58] B. R. Albuquerque *et al.*, «Optimization and comparison of heat- and ultrasound-assisted extraction methods for anthocyanin recovery from *Sicana odorifera* fruit epicarp», *Biomass Convers. Biorefinery*, 2023, doi: 10.1007/s13399-023-05097-6.